

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Andelo Živalj

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student:

Anđelo Živalj

Zagreb, 2013.

## IZJAVA

*Pod punom moralnom odgovornošću izjavljujem da sam rad radio samostalno koristeći se znanjem stečenim tijekom studija te navedenom literaturom.*

## ZAHVALA

*Najsrdačnije se zahvaljujem voditelju rada prof. dr. sc. Željku Šitumu na pružanju korisnih savjeta te stručne pomoći pri izradi ovog rada.*

*Posebno se zahvaljujem prof. dr. sc. Nedeljku Štefaniću na financiranju izrade projekta.*

*Također se zahvaljujem tvrtki Bibus d.o.o. na savjetima pri odabiru pneumatskih komponenti te povoljnoj cijeni istih.*

*Zahvaljujem se poduzeću Extop d.o.o. na pružanju tehničkih savjeta i radnih strojeva pri izradi prototipa elektrane.*

*Na kraju se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj podršci tijekom studija.*

# DIPLOMSKI ZADATAK



# Sadržaj

Sadržaj	II
Popis slika	IV
Popis tablica	V
Popis oznaka	VI
Sažetak	VIII
Summary	IX
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
1.1 Potencijal morskih valova . . . . .	1
1.2 Povijesni razvoj . . . . .	3
1.2.1 Oscilirajući vodeni stupac ( <b>OWC</b> – engl. <b>O</b> scillating <b>W</b> ater <b>C</b> olumn) [1] . . . . .	4
1.2.2 Oscilirajuće plutače <b>WEC</b> (engl. <b>W</b> ave <b>E</b> nergy <b>C</b> onverter) . . . . .	4
1.2.3 Usmjeravajući kanali (apsorberi valova) . . . . .	6
1.3 Problemi pri korištenju energije morskih valova . . . . .	7
<b>2 Projektiranje simulacijskog modela</b>	<b>8</b>
2.1 Simulacijski model . . . . .	8
2.2 Princip rada . . . . .	9
<b>3 Izrada prototipa</b>	<b>11</b>
3.1 Komponente sustava . . . . .	11
3.2 Montaža prototipa . . . . .	16
<b>4 Upravljačka elektronika</b>	<b>19</b>
4.1 Projektiranje tiskane pločice . . . . .	20
4.1.1 Projektiranje sheme . . . . .	20
4.1.2 Dizajniranje predloška . . . . .	21
4.2 Izrada tiskane pločice . . . . .	21
4.2.1 Čišćenje bakrene površine . . . . .	22

4.2.2	Nanošenje zaštitnog sloja (maske) . . . . .	22
4.2.3	Jetkanje pločica . . . . .	24
4.2.4	Skidanje (čišćenje) maske sa tiskanih vodova . . . . .	25
4.2.5	Bušenje provrta . . . . .	25
4.2.6	Lemljenje . . . . .	26
4.2.7	Programiranje mikrokontrolera . . . . .	26
4.3	Financijska konstrukcija . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Eksperimentalno ispitivanje sustava</b>	<b>28</b>
5.1	Ispitivanje sustava podizanja vode . . . . .	29
5.2	Ispitivanje sustava spuštanja vode . . . . .	31
<b>6</b>	<b>Smjernice za izradu realnog sustava</b>	<b>35</b>
6.1	Smještaj elektrane . . . . .	35
6.2	Plutača . . . . .	35
6.3	Cilindar . . . . .	36
6.4	Gornji spremnik . . . . .	36
6.5	Turbina . . . . .	36
6.6	Generator . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Zaključak</b>	<b>39</b>
	<b>Literatura</b>	<b>40</b>
<b>A</b>	<b>Elektronička shema upravljačke elektronike</b>	<b>42</b>
<b>B</b>	<b>Programski kod u mikrokontroleru</b>	<b>44</b>

# Popis slika

1.1	<i>Energija morskih valova</i> [2]	1
1.2	<i>Prosječna energija valova u kW po metru dužnom vala</i> [3]	3
1.3	<i>Načini iskorištavanja energije morskih valova</i> [4]	6
2.1	<i>CATIA model elektrane</i>	9
2.2	<i>Pogled 1</i>	9
2.3	<i>Pogled 2</i>	9
2.4	<i>Pogled 3</i>	9
2.5	<i>Shematski prikaz sustava</i>	10
3.1	<i>Pneumatska oprema</i> [5]	11
3.2	<i>Vodna turbina</i>	12
3.3	<i>DC generator</i> [6]	13
3.4	<i>Akumulator</i> [7]	13
3.5	<i>LCD monitor</i> [8]	14
3.6	<i>Servomotor</i> [9]	14
3.7	<i>Kapacitivni senzor</i>	15
3.8	<i>Frekvencijski signal u ovisnosti o visini tekućine</i>	16
3.9	<i>Zavarivanje čelične cijevi i nosača plutače</i>	16
3.10	<i>Tokarenje osovine turbine</i>	17
3.11	<i>Upravljački ventil</i>	17
3.12	<i>Konačan izgled prototipa</i>	18
4.1	<i>Mikrokontroler</i> [10]	19
4.2	<i>Stabilizator napona L7805CV</i> [11]	20
4.3	<i>Timer LM555CN</i> [12]	20
4.4	<i>Bipolarni tranzistor BC337</i> [13]	21
4.5	<i>Mosfet IRF4905</i> [14]	21
4.6	<i>Dioda 1N4007</i> [15]	21
4.7	<i>Komponente s gornje strane pločice</i>	21
4.8	<i>Izgled vodova na pločici</i>	21
4.9	<i>Pozitiv predložak pločice</i>	23
4.10	<i>Osvjetljavanje pločice</i>	23

4.11	<i>Razvijanje pločice</i>	24
4.12	<i>Jetkanje pločice</i>	24
4.13	<i>Bušenje pločice</i>	25
4.14	<i>Pravilan i nepravilan način lemljenja [16]</i>	26
4.15	<i>ATMEL AVR MKII programator</i>	27
5.1	<i>Grafički prikaz eksperimenta</i>	28
5.2	<i>Proizvodnja valova</i>	28
5.3	<i>Optimalan promjer mlaznice</i>	31
5.4	<i>Karakteristika turbine</i>	32
5.5	<i>Karakteristika LED dioda[17]</i>	32
5.6	<i>Grafički prikaz rezultata</i>	33
5.7	<i>Shema spoja</i>	33
5.8	<i>Grafički prikaz rezultata</i>	33
5.9	<i>Shema spoja</i>	33
5.10	<i>Grafički prikaz rezultata</i>	33
5.11	<i>Shema spoja</i>	33
5.12	<i>Snaga generatora pod opterećenjem</i>	34
6.1	<i>Reakcijske turbine[18]</i>	37
6.2	<i>Akcijske turbine[18]</i>	37
6.3	<i>Radna područja različitih tipova turbina[18]</i>	37
6.4	<i>Uzbuda električnog generatora[19]</i>	38

# Popis tablica

4.1	<i>Širina vodova s obzirom na dopuštenu struju [16]</i>	22
4.2	<i>Financijska konstrukcija izrade prototipa</i>	27

# Popis oznaka

Oznaka	Opis	Jedinica
$A_{klip}$	Poprečni presjek cilindra,	$m^2$
$a$	Širina elektrode kapacitivnog senzora razine,	m
$B$	Duljina plutače,	m
$C$	Kapacitet općenito,	F
$c$	Broj ciklusa punjenja gornjeg spremnika,	-
$C_{tekucina}$	Kapacitet između elektroda kapacitivnog senzora razine od dna spremnika do razine tekućine,	F
$C_{tekucina}$	Kapacitet između elektroda kapacitivnog senzora razine od razine tekućine do vrha spremnika,	F
$C_{uk}$	Ukupni kapacitet između elektroda kapacitivnog senzora razine,	F
$E_{valovi}$	Energija valova,	J
$E_{plutaca}$	Energija gibanja plutače,	J
$E_{ulaz}$	Energija gibanja klipnjače (klipa) cilindra,	J
$E_{izlaz}$	Energija na izlazu cilindra,	J
$E_{ventil}$	Energija svladavanja nepovratnih ventila,	J
$E_{punjenje}$	Energija punjenja gornjeg spremnika,	J
$E_{praznjenje}$	Energija pražnjenja gornjeg spremnika,	J
$E_{mlaznica}$	Energija vode na ulazu u turbinu,	J
$E_{turbina}$	Energija vode po izlazu iz turbine,	J
$E_{generator}$	Energija na izlazu generatora,	J
$F_{plutaca}$	Sila podizanja plutače,	N
$F_{ulaz}$	Sila u klipnjači cilindra,	N
$g$	Gravitacijska konstanta,	$\frac{m}{s^2}$
$H_{mo}$	Srednja visina vala (amplituda),	m
$h$	Visina tekućine u gornjem spremniku,	m
$I$	Struja,	A
$L$	Visina cijelog gornjeg spremnika,	m
$l$	Pomak plutače,	m
$M$	Moment na osovini turbine,	Nm
$m$	Masa vode,	kg

$n$	Broj okretaja turbine u minuti,	$\frac{\text{o}}{\text{min}}$
$P_{valovi}$	Gustoća snage valova,	$\frac{\text{W}}{\text{m}}$
$P_{Jadran}$	Gustoća snage valova na Jadranu,	$\frac{\text{W}}{\text{m}}$
$P_{max}$	Maksimalna snaga turbine,	W
$P_g$	Snaga generatora,	W
$p_{cilindar}$	Tlak u cilindru,	Pa
$p_h$	Hidrostatski tlak vode,	Pa
$r_{klip}$	Polumjer klipa cilindra,	m
$S$	Površina elektrode kapacitivnog senzora razine,	$\text{m}^2$
$s_{klip}$	Hod klipnjače,	m
$T$	Period vala,	m
$t_{praznjenje}$	Vrijeme pražnjenja gornjeg spremnika,	s
$t_{punjenje}$	Vrijeme punjenja gornjeg spremnika,	s
$U$	Napon stezaljki generatora,	V
$V$	Volumen gornjeg spremnika,	$\text{m}^3$
$V_{ciklus}$	Volumen korištene zapremnine cilindra,	$\text{m}^3$
$\alpha$	Kutni pomak plutače,	°
$\Delta C$	Promjena kapaciteta kapacitivnog senzora razine,	F
$\Delta p_{ventil}$	Pad tlaka na nepovratnom ventilu,	Pa
$\rho$	Gustoća vode,	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
$\epsilon_0$	Dielektričnost vakuumu,	$\frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
$\epsilon_r$	Relativna dielektrična konstanta,	-
$\eta_0$	Korisnost plutače u odnosu na valove,	%
$\eta_1$	Korisnost plutače u odnosu na cilindar,	%
$\eta_2$	Korisnost cilindra,	%
$\eta_3$	Korisnost nepovratnog ventila,	%
$\eta_4$	Korisnost crijeva,	%
$\eta_5$	Korisnost turbine,	%
$\eta_6$	Korisnost generatora i prijenosnika,	%
$\eta_I$	Korisnost sustava podizanja vode,	%
$\eta_{II}$	Korisnost sustava spuštanja vode,	%
$\eta_{uk}$	Korisnost cijelog sustava,	%

# Sažetak

Korištenje energije morskih valova želja je čovjeka još od davnina, a današnje potrebe za izvorima energije, posebno obnovljivim, veće su no ikad. Potencijali su zaista veliki, ali i u razdoblju najvećeg tehnološkog napretka nijedna tehnologija nije dovoljno napredovala da ovaj vid energije postavi na "zdrave noge". Iskorištavanjem bilo kakvog oblika obnovljivih izvora energije, pa tako i energije morskih valova, potpomaže se ukupni elektroenergetski sustav koji je ionako preopterećen, ali se također globalno podiže i ekološka svijest što je u posljednje vrijeme od velike važnosti. U radu je prikazan cijeli proces projektiranja i izrade modela elektrane na valove te popratnog elektroničkog upravljačkog sustava. Provedeno je eksperimentalno ispitivanje modela te su prikazani rezultati istog na temelju kojih su dane smjernice za izradu realnog sustava ukazujući na najosjetljivije dijelove koje je moguće modificirati u svrhu postizanja što veće iskoristivosti i optimalnog stanja sustava.

**Ključne riječi:** valovi, električna energija, tiskana pločica, elektrana



# Summary

Usage of the energy of the waves is the desire of man since ancient times, and today's needs for energy sources, especially the renewable ones, are greater than ever. Potentials are really great, but in the period of the greatest technological progress neither one is advanced enough to set up this type of energy right. Exploitation of any form of renewable energy, including the energy of waves, supports whole and already overloaded power system, but also raises global environmental awareness what is very important lately. This graduation thesis presents the whole process of design and development of a model of wave power plant and accompanying electronic control system. Experimental testing of the model has been performed and its results are presented which provided guidelines for the development of the real system indicating the most sensitive parts that can be modified to achieve greater efficiency and optimal system performance.

**Keywords:** waves, electrical energy, printed circuit board, power plant

# Poglavlje 1

## Uvod

Korištenje energije morskih valova (1.1) želja je čovjeka još od davnina, a današnje potrebe za izvorima energije, posebno obnovljivim, veće su no ikad. Potencijali su zaista veliki, ali i u razdoblju najvećeg tehnološkog napretka nijedna tehnologija nije dovoljno napreovala da ovaj vid energije postavi na "zdrave noge".



Slika 1.1: *Energija morskih valova*[2]

### 1.1 Potencijal morskih valova

Energija morskih valova mehanička je transformirana sunčeva energija. Valove, naime, uzrokuju vjetrovi koji nastaju kao posljedica razlika u tlaku zraka, a te, pak, razlike nastaju zbog različitog zagrijavanja pojedinih dijelova Zemljine površine. Stalni (planetarni) vjetrovi uzrokuju stalnu valovitost na određenim područjima i to su mjesta na kojima je povoljno i isplativo iskorištavanje njihove energije. Valovi se razlikuju po visini, dužini i brzini, a o tome ovisi i njihova energija. Svaki val nosi potencijalnu energiju uzrokovanu deformacijom površine i kinetičku energiju koja nastaje zbog gibanja vode. Ta energija naglo opada s dubinom pa na dubini od 20 m iznosi samo 20 % od energije neposredno ispod površine, dok

na dubini od 50 m samo oko 2 % od energije neposredno ispod površine.

Snaga vala definira se po jedinici površine okomitu na smjer kretanja vala. Ona može iznositi i  $10 \text{ kW/m}^2$ , ali i oko nule. Npr. za područje sjevernog Atlantika, na otvorenom moru između Škotske i Islanda, u 50 % vremena snaga valova je  $3,9 \text{ kW/m}^2$  ili veća. Snagu valova može se odrediti po metru dužine na morskoj površini. Tako definirana snaga vala mijenja se s brzinom vjetra te zavisi od godišnjeg doba i vremenskih prilika. Na spomenutom dijelu Atlantika ljeti je snaga u 50 % vremena  $10 \text{ kW/m}$  ili veća, a zimi čak  $95 \text{ kW/m}$  ili veća. Dužina obala uz oceane svih pet kontinenata (bez polova) iznosi oko 100 milijuna metara, pa ako se računa s prosječnom srednjom snagom od  $10 \text{ kW/m}$ , dobija se prosječna godišnja snaga od 1 TW, odnosno godišnja energija od oko 9000 TWh, što je oko 60 % današnje proizvodnje električne energije. [20]

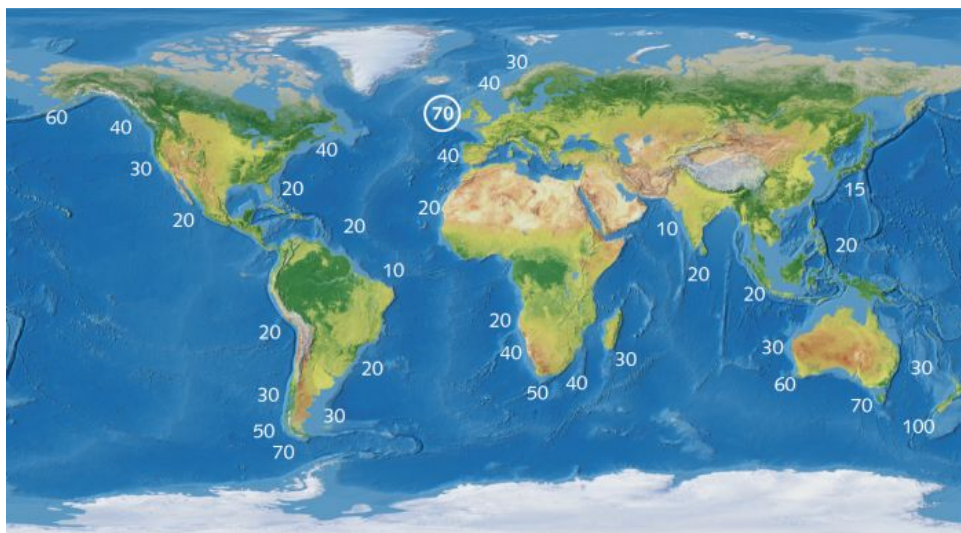
Kada se u izraz (1.1) za izračunavanje gustoće snage valova na određenom području:

$$P_{valovi} = \frac{\rho \cdot g^2}{64 \cdot \pi} \cdot H_{m0}^2 \cdot T \approx 0,5 \cdot H_{m0}^2 \cdot T \quad \frac{\text{kW}}{\text{m}}, \quad (1.1)$$

gdje je  $P_{valovi}$  snaga valova po metru,  $\rho$  gustoća mora,  $g$  gravitacijska konstanta,  $H_{m0}^2$  srednja visina vala, a  $T$  period istog, te se uvrste podaci o valovima na predjelu Jadrana [21], dobije se gustoća snage (1.2) valova na Jadranu:

$$P_{Jadrana} \approx 0,5 \cdot 1,6^2 \cdot 4 \approx 5 \quad \frac{\text{kW}}{\text{m}}. \quad (1.2)$$

Ukupna energija valova koji udaraju u svjetsku obalu je procijenjena na 2-3 milijuna MW što je ogroman neiskorišten potencijal. Energetski najbogatiji valovi su koncentrirani na zapadnim obalama na području od 40 do 60 stupnjeva zemljopisne širine na sjevernoj i južnoj hemisferi. Visina valova je najviša za vrijeme zime, što se poklapa s vremenom najviše potrošnje električne energije. Kinetička energija valova može se početi efikasno transformirati u električnu energiju kada je visina vala veća od 1 m. Pri određivanju prikladnosti valova eksploataciji ne može se uzeti samo parametar snage po dužnom metru. Amplituda, frekvencija i oblik valova su jednako važni parametri koji se trebaju tražiti unutar energetski prihvatljive zone valova. Zbog prirodnog potencijala valova, visokog tehnološkog stupnja razvoja, velikim energetskim zahtjevima i ekološkom svježću, najdalje u razvoju komercijalnih elektrana na valove su došle visoko industrijalizirane maritimne zemlje Velika Britanija, Japan, skandinavske zemlje i Australija. Sjeverne i južne temperaturne zone imaju najpogodnija područja za eksploataciju snage valova. Jednostavniji oblik iskorištavanja energije valova bio bi neposredno uz obalu zbog lakšeg, tj. jeftinijeg dovođenja energije potrošačima. Međutim, energija valova na pučini znatno je veća, ali je i njezino iskorištavanje puno skuplje. [22]



Slika 1.2: *Prosječna energija valova u kW po metru dužnom vala*[3]

## 1.2 Povijesni razvoj

Prvi poznati patent koji je koristio energiju oceana bilježi se još 1799. godine i bio je notiran u Parizu od strane Girarda i njegova sina. Godine 1910., Bochaux-Praceique, konstruirao je prvu napravu za korištenje snage valova kako bi njome napajao svoju kuću u Royanu, blizu Bordeaux-a u Francuskoj. Izgleda da je to prvi tip naprave oscilirajućeg vodenog stupa. Od 1855. do 1973. već je postojalo 340 takvih patenata samo u Ujedinjenom Kraljevstvu. Međutim, Yoshio Masuda-ini eksperimenti u 1940. godinama su bili prvi pravi znanstveni eksperimenti na ovome području. On je testirao razne koncepte predviđene za iskorištavanje energije valova na moru, sa nekoliko stotina jedinica korištenih za pogonjenje navigacijskih svjetala. Među njima je bio i koncept koji je konvertirao snagu vala preko kutnog gibanja među zglobovima plutače, kojeg je utemeljio 1950. godine.

Godine 1973. je zavladała naftna kriza, što je doprinijelo ponovnom razvoju interesa za energiju valova. Velik broj sveučilišnih istraživača je nanovo istražilo potencijal eksploatacije oceanskih valova, među kojima su se istaknuli Stephen Salter sa Sveučilišta Edinburga, Kjell Budal i Johannes Falnes sa Norveškog Tehnološkog Instituta, Michael E McCormick sa Brodarske Akademije Ujedinjenih Naroda, David Evans sa Sveučilišta u Bristolu, Michael French sa Sveučilišta Lancastera, John Newman i Chiang C. Mei sa MIT-a.

U 1980-im godinama, kako se cijena nafte spustila, ulaganja u eksploataciju energije valova drastično su pala. Kako god, par prvih generacija prototipova je testirano na moru. U posljednje vrijeme, prateći problem u klimatskim promjenama, postoji rastući interes za razvojem obnovljivih izvora energije, uključujući i energiju valova, širom čitavog svijeta.[23] Danas su u osnovi poznata tri načina korištenja energije valova ako su kategorizirana po metodi kojom prihvaćaju valove. To su preko oscilirajućeg vodenog stupca, oscilirajuće plutače te usmjeravajućih kanala (apsorberi valova). Niti jedan od navedenih načina za korištenje energije valova ne može danas konkurirati klasičnim izvorima električne energije.

Međutim, prednost je ta što su valovi vrlo predvidivi; valovi uzrokovani vjetrom mogu biti predviđeni pet dana unaprijed.

### **1.2.1 Oscilirajući vodeni stupac (OWC – engl. Oscillating Water Column) [1]**

Vertikalna betonska ili čelična komora, koja je djelomično pod morem, ima otvor ispod morske površine. Unutar komore je stupac vode, iznad kojega je stupac zraka. Zbog nadolaženja valova vodeni stupac u komori oscilira. Prilikom podizanja vodeni stupac potiskuje stupac zraka, stlačeni zrak pogoni zračnu turbinu, a ona pogoni električni generator. Rad ovoga postrojenja omogućio je genijalni izum prof. Alana Arthura Wellsa (Queen's University, Belfast – QUB, Sjeverna Irska, UK), koji je po njemu i dobio ime: Wellsova turbina (kasne 70-e godine 20. stoljeća). Prvo norveško OWC postrojenje, izgrađeno 1985. godine na otoku Rongøyna i nalazilo se unutar prirodnoga udubljenja u litici koja se obrušava u more, ali odmaknuto od same stijenke litice. Wellsova turbina, promjera 2 m, bila je izravno povezana s generatorom (600 kW). Performance postrojenja nadilazile su predviđanja. Nažalost, snažna oluja srušila je ovo postrojenje 1988. godine i ono više nije bilo obnovljeno. Iskustvo s norveškim postrojenjem pokazalo je da bi novo postrojenje trebalo biti robusnije i ugrađeno u samu liticu, kao što je i napravljeno na otoku Islay (otočje Unutarnji Hebridi, Škotska), koji su znanstvenici s QUB-a odabrali kao najpovoljniju lokaciju. Postrojenje je s prekidima radilo od 1989. do 1999. godine, kada je demontirano. Blizu Portnahavena, na zapadnoj obali otoka Islay, u rujnu 2000. godine završena je izgradnja OWC elektrane s Wellsovom turbinom, LIMPET 500 (1.3). Ova komercijalna elektrana, snage 500 kW, osigurava struju za oko 300 otočnih kućanstava. Novija, veća postrojenja su u Škotskoj (otok Lewis), Španjolskoj (Baskija) i Portugalu (otok Pico, Azori).

OWC načelo može se primijeniti i na pučini, korištenjem platforme ("umjetna obala") na koju djeluju valovi. U novije vrijeme na tome se radi u Japanu i u Australiji. Japanska firma JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center) projektirala je plutajuće OWC pučinsko postrojenje, naziva Mighty Whale (110 kW). Prototip postrojenja Mighty Whale sastoji se od platforme, veličine (50 x 50) m, usidrene na 40 m dubine u zaljevu Gokasho (istok otoka Honshua), na kojoj su 3 OWC komore. Postrojenje djeluje i kao lukobran.

### **1.2.2 Oscilirajuće plutače WEC (engl. Wave Energy Converter)**

Ovi pučinski sustavi postavljaju se na duboko (otvoreno) more (dubina > 40 m). Koriste se različiti sofisticirani mehanizmi, kod kojih se jedan dio pomiče u odnosu na drugi, a najznačajniji su:

- Edinburška (Salterova) patka Osnovni dio ovoga uređaja je plovak, efikasnoga

hidrodinamičkog oblika, koji podsjeća na rudimentarnu patku (odatle i naziv). Plovak, postavljen u smjeru kretanja valova, podiže se i spušta, djelujući kao razbijač valova. Pri podizanju i spuštanju na valovima tijelo plovka pomiče se u odnosu na cilindričnu os, smještenu u njegovome stražnjem dijelu, zakrećući je uvijek u istome smjeru. Taj efekt pogoni crpke koje tjeraju radni medij (visokotlačno ulje) na turbinu, a ona pogoni električni generator. Niska, sastavljena od više plovaka, postavlja se tako da zajednička fleksibilna cilindrična "kraljeznica" bude što više paralelna valnoj fronti nadolazećih valova. Uređaj treba biti labavo usidren, tako da se spriječi usmjereno zanošenje morskom strujom, ali ne i gibanje potrebno za pretvorbu energije. Prilikom nailaska vala svaki plovak giba se "zasebno", a relativno stacionarna i teško torzibilna "kraljeznica" usrednjavanjem reakcije svih plovaka osigurava zajednički pogon za više odvojenih sustava generiranja električne energije. Prikupljanje i odvođenje energije iz plovaka, koji su u različitim fazama gibanja, izuzetno je zahtjevan zadatak.

- AquaBuoy plutače Američka tvrtka Finavera Renewables započela je projekt pučinskih postrojenja, s planom instaliranja u Makah Bay (Washington, SAD). Riječ je o patentiranim pretvaračima energije valova, naziva AquaBuoy (1.3), koji se temelje na tehnologiji bova. Plutače AquaBuoy postavljaju se na pučinu, nekoliko kilometara od obale, na mjestima najveće energije valova. Vertikalno gibanje vala koristi se, pomoću dvotaktne crijevne crpke, za tlačenje vode i pogonjenje turbine, a turbina pogoni električni generator. Proizvedena električna struja podvodnim kabelom prenosi se do obale. Postrojenje je modularno: može biti sačinjeno od malih klastera bova AquaBuoy pa do stotina bova kombiniranih u različit raspored, prema željenoj izlaznoj snazi (od nekoliko stotina kW do više desetaka MW). Procijenjeno je da se na ovaj način može proizvoditi električna energija po cijeni usporedivoj s prosječnim cijenama proizvodnje u kopnenim i u pučinskim vjetroelektranama.
- valni stroj Pelamis U svibnju 2007. godine škotska vlada objavila je da će European Marine Centre – EMC (otočje Orkney, sjeverna Škotska) graditi prvu farmu valova (park valova) u Ujedinjenome Kraljevstvu, ukupne snage 3 MW, najveću te vrste na svijetu: koristit će se 4 valna stroja Pelamis (1.3), svaki snage 750 kW. Valni stroj Pelamis (1.3) predstavlja nisku valjkastih tijela dopola uronjenih u more, međusobno povezanih spojnim zglobovima – konverzijski moduli. Valovima inducirano gibanje valjkastih tijela koje podsjeća na lelujavu gibanje morske zmiје – odatle i naziv Pelamis, prenosi se preko spojnih zglobova na klip hidrauličke crpke, koja potiskuje visokotlačno ulje kroz hidraulički motor, a on pogoni hidraulički generator, koji proizvodi električnu struju. Proizvedena električna struja, preko transformatora u nosu stroja, odvodi se do zajedničkoga podmorskog kabla, kojim se odvodi do obale i isporučuje u električnu mrežu. Portugalska vlada dogovorila je s Pelamis Wave Power Ltd polaganje triju Pelamis strojeva (svaki snage 750 kW) u Atlantski ocean

kod Aguçadoure, 15 km sjeverno od Póvoa de Varzim. To bi trebala biti prva komercijalna farma valova u svijetu, naziva Aguçadoura, ukupne snage 2,25 MW. Početni troškovi su oko 8,5 milijuna €. U slučaju uspješnoga rada projekt predviđa povećanje broja strojeva na 40. To postrojenje, ukupne snage 30 MW, na 1 km<sup>2</sup> površine oceana, opskrbljivalo bi strujom 20 000 kućanstava. [1]

### 1.2.3 Usmjeravajući kanali (apsorberi valova)

Da bi se voda podigla na što veću visinu u stacionarnim elektranama koje koriste energiju morskih valova – Posejdonove elektrane – koriste se usmjeravajući kanali (apsorberi valova): to su kosi betonski kanali koji se prema vrhu sužavaju. (Za cjelokupno postrojenje s apsorberom valova u literaturi susrećemo stručni termin TAPCHAN, što je skraćenica od engl. tapered channel – suženi kanal.) Suženje kanala povećava brzinu protoka, odnosno kinetičku energiju vodene mase, što omogućuje da se voda penje na visinu preljevnoga kanala i puni akumulacijski bazen elektrane. Voda se preko niskotlačne Kaplanove turbine vraća u more, pri čemu se potencijalna energija vode (temeljena na razlici razine vode u akumulacijskome bazenu i razine mora), pretvara u električnu energiju i isporučuje u električnu mrežu. U Norveškoj, na otoku Rongøyna (Toftestallen, Øygarden), 1985. godine norveška firma Norwave izgradila je prototip postrojenja TAPCHAN, snage 350 kW. Nažalost, elektrana je porušena u snažnoj oluji u prosincu 1988. godine. Kasnih 90-ih godina 20-oga stoljeća norveška firma Indonor AS započela je izgradnju postrojenja TAPCHAN (1,1 MW) na Javi (Indonezija), na lokaciji s gotovo idealnim uvjetima.



Slika 1.3: Načini iskorištavanja energije morskih valova[4]



## 1.3 Problemi pri korištenju energije morskih valova

Za pretvorbu energije morskih valova u korisnu mehaničku energiju, koja se potom, ponajčešće, koristi za proizvodnju električne energije, ključno je postojanje središnje, stabilne strukture te dijela postrojenja koji se u odnosu na nju pokreće, djelovanjem valova. Upravo postojanje ove stabilne okosnice predstavlja velik problem kod plutajućih postrojenja, središnja struktura koja treba biti izuzetno velikih dimenzija, da bi se mogla ostvariti prihvatljiva stabilnost. Budući da je, zbog surovih oceanskih uvjeta, kod WEC postrojenja i inače nužno predimenzioniranje, to ujedno znači i visoka ulaganja u postrojenje. Za razliku od stacionarnih kopnenih postrojenja, kod plutajućih postrojenja problem je i privezivanje i sidrenje te prijenos električne energije do kopna. Stacionarna postrojenja, kopnena i ona pričvršćena za kontinentski šelf, imaju niz prednosti pred nestacionarnim, plutajućim postrojenjima, jer imaju čvrstu okosnicu. Uz to, lako su pristupačna, u svrhu održavanja, te se lako priključuju na električnu mrežu. Međutim, nedostatak u odnosu na plutajuća postrojenja je u tome što, uglavnom, rade u plićim morima, pa stoga koriste reduciranu energiju valova (gubici energije zbog trenja s morskim dnom). Ovaj problem nije prisutan jedino kod onih kopnenih postrojenja koja su smještena na obali pored koje je dovoljna dubina mora. Nadalje, radi optimiranja izlazne snage kopnena postrojenja trebaju biti smještena na mjestima maloga plimnog raspona, da bi pogon postrojenja mogao biti cjelodnevni. Jasno je da je ograničen broj lokacija pogodnih za implementaciju kopnenih postrojenja. Uz to, svaka lokacija zahtijeva posebno dizajnirano postrojenje, prilagođeno danoj lokaciji, što dodatno povećava investicije. Potrebno je voditi računa i o udovoljavanju strogim ekološkim zahtjevima. Posljedica svega navedenoga je relativno visoka cijena električne energije proizvedene korištenjem energije morskih valova. Širom svijeta ponuđeno je mnogo idejnih rješenja uređaja koji koriste energiju valova, ali samo je nekoliko cjelovitih prototipova koji su testirani. Treba istaknuti da je kod većine postrojenja koja koriste energiju morskih valova, kao i kod svih obnovljivih izvora energije, proizvodnja električne energije intermitentna, a time i isporuka energije u električnu mrežu, što predstavlja ozbiljan nedostatak. Tehnologija korištenja energije morskih valova još je u fazi djetinjstva i stoga je popraćena brojnim problemima svojstvenima djetinjstvu. Ipak, usprkos brojnim problemima, može se reći da je ovaj vid energije mora vrlo izgledan te da će u budućnosti, nedvojbeno, predstavljati važan izvor obnovljive energije.

Zbog svega navedenog, u ovom diplomskom radu prikazan je razvoj umanjenog fizičkog modela elektrane na valove od same ideje do konačnog izgleda prototipa te objašnjenje principa rada istog. Također su, na temelju rezultata provedenog eksperimenta, dane smjernice izrade elektrane u realnoj veličini pri realnim uvjetima. Realizacija projekta uključuje spoj raznih područja i znanja: razvoja mehaničke konstrukcije, odabira osnovnih komponenti (cilindar, turbina, generator...), projektiranja, izrade te programiranja elektronike. Upravo je ova integracija strojarskih, elektroničkih i informatičkih disciplina značajna za područje mehatronike te je glavni motiv odabira ove problematike.[1]



## Poglavlje 2

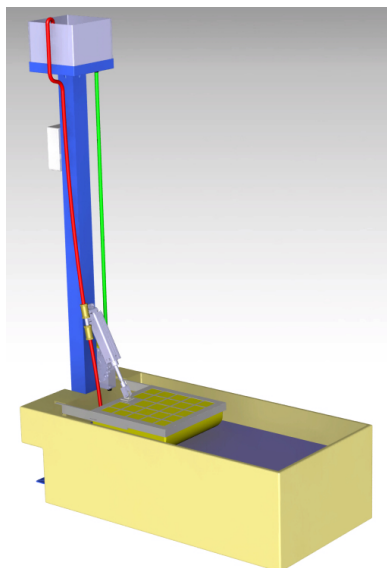
# Projektiranje simulacijskog modela

U ovom poglavlju predstavljeno je idejno rješenje prethodno objašnjenog problema iskorištavanja energije morskih valova. Naime, sustav je zamišljen, u principu, kao modificirana hidroelektrana, odnosno, po načinu rada, najbliže je rješenju usmjeravajućih kanala (apsorberima valova). Međutim, faza podizanja vode na višu razinu osmišljena je na drugačiji način i to preko pneumatskog cilindra. Da bi se krenulo s izradom fizičkog prototipa (umanjenog modela elektrane) najprije je potrebno projektirati simulacijski model kako bi se stekao uvid u osnovne gabarite cijelog sustava te predvidio način spajanja njegovih komponenti. Za tu radnju korišten je program za 3D modeliranje pod nazivom CATIA francuske tvrtke *Dassault Systems*, inače najmoćniji program svoje vrste među CAD (engl. Computer Aided Design) softverima na svijetu. [24]

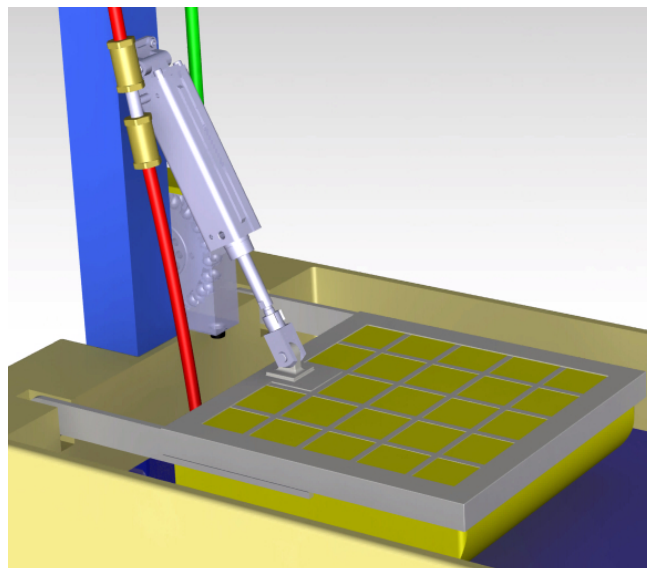
### 2.1 Simulacijski model

Dakle, model elektrane (2.1) sastoji se od bazena s vodom ( $\sim 600$  l), čelične konstrukcije s komponentama te plutače. Polietilni bazen napunjen vodom posebno je oblikovan kako bi prijanjao uz čeličnu konstrukciju te ju svojom težinom ujedno i održavao stabilnom. Čelična konstrukcija je izvedena tako da se kvadratna čelična cijev zavarila na čeličnu ploču debljine 5 mm koja je opet zarezana od sva četiri vrha prema sredini kako bi se izbjeglo njezino savijanje. Ukoliko je potrebno, na slobodnu stranu ploče mogu se staviti utezi kako bi se dodatno osigurala stabilnost konstrukcije. Na vrhu cijevi zavareno je postolje koje nosi na sebi spremnik za vodu od akrilnog stakla (20 l), a cijela konstrukcija je premazana bojom i lakom kako bi se spriječila pojava korozije. Slika (2.2) prikazuje pneumatski cilindar koji je s jedne strane spojen na konstrukciju a s druge na plutaču koja je opet spojena na bazen. Plutača je izvedena tako da je u kalup od nehrđajućeg čelika pričvršćeno plovno tijelo izrađeno od kompozita (polistiren ojačan staklenim vlaknima i epoksidnom smolom). Također su naznačena i dva nepovratna ventila koji preko poliuretanskog pneumatskog crijeva povezuju bazen sa gornjim spremnikom te onemogućavaju vraćanje jednom napumpane vode. Na slici (2.3) prikazan je smještaj

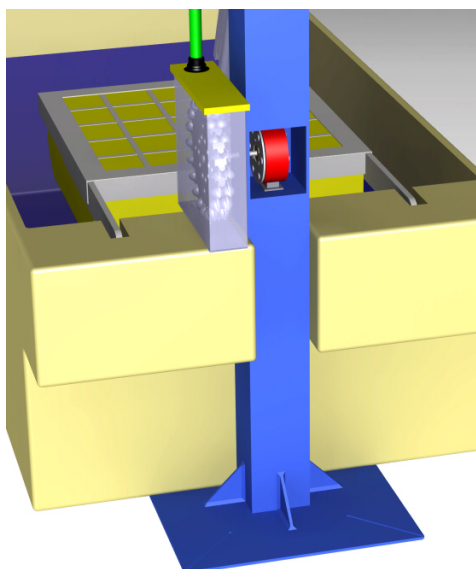
stanice za proizvodnju električne energije sastavljene od turbine i generatora koji je spojen na potonju i zaštićen od vode. Generator je spojen na akumulator preko upravljačke elektronike koja se nalazi u kutiji za elektroniku, a ova je, pak, pričvršćena na čeličnu konstrukciju kao što se vidi na slici (2.4). Na vrhu gornjeg spremnika smješten je senzor razine tekućine, a na dnu istog postavljen je servomotor sa mehanizmom za otvaranje odnosno zatvaranje odvoda.



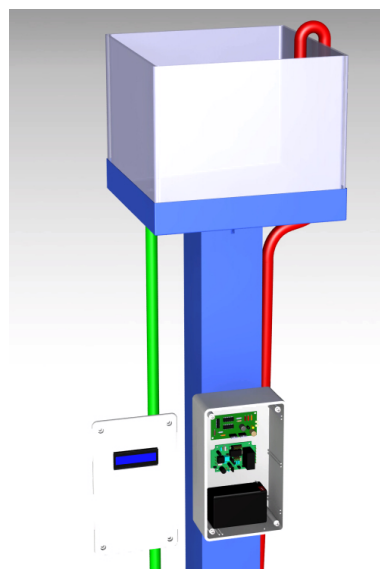
Slika 2.1: *CATIA model elektrane*



Slika 2.2: *Pogled 1*



Slika 2.3: *Pogled 2*

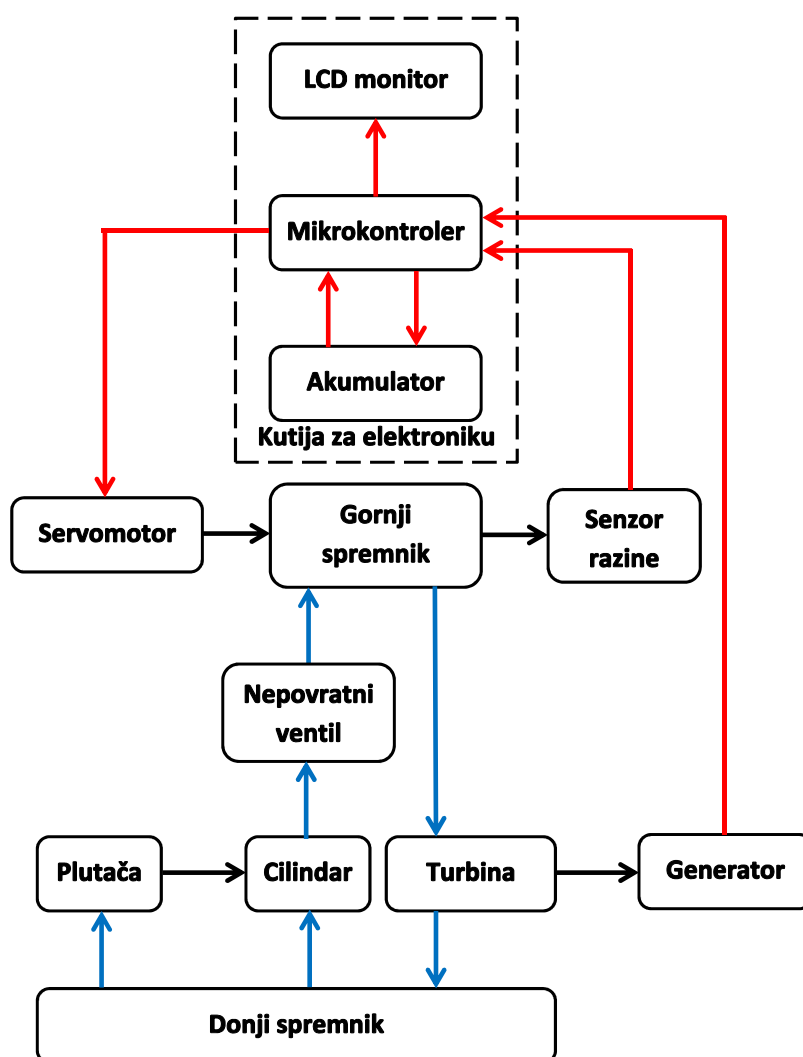


Slika 2.4: *Pogled 3*

## 2.2 Princip rada

Cijeli sustav (2.5) se zasniva na principu razlike potencijala, u ovom slučaju visina, gdje se prvo energija valova pretvara u potencijalnu energiju vode koja se slobodnim padom pretvara

u kinetičku i dovodi lopaticama turbine. Potonja se, rotacijom turbine, pretvara u mehaničku energiju koja se zatim pretvara u električnu energiju u generatoru koji je, opet, povezan s turbinom preko osovine. Dakle, najprije se u bazen nalije potrebna količina vode ( $\sim 400$  l) kako bi ista došla do razine plutače. Zatim se, proizvodeći valove, pokrene gibanje plutače, a time ujedno i klipnjače, odnosno klipa koji, preko donjeg pneumatskog crijeva i nepovratnog ventila, usisava određenu količinu vode u cilindar, a zatim preko gornjeg ventila i crijeva šalje vodu ka gornjem spremniku. Kada se spremnik napuni do određene razine koju konstantno ispituje senzor razine vode, upravljačka elektronika zakreće servomotor na odvodu spremnika te time omogućava pražnjenje spremnika preko crijeva koji vodi do turbine. Potonja svojom vrtnjom uzbudi generator koji proizvodi struju kojom se puni akumulator, a voda koja izvrši rad na turbini opet se vraća u bazen. Ukoliko se dogodi da razina vode u gornjem spremniku padne ispod dopuštene vrijednosti zadane u mikrokontroleru, servomotor ponovno zatvara dno spremnika. Na kutiji za elektroniku nalazi se i jedan mali monokromatski LCD zaslon koji prikazuje trenutne informacije o sustavu (stanje akumulatora, razina vode u spremniku...).



Slika 2.5: Shematski prikaz sustava

# Poglavlje 3

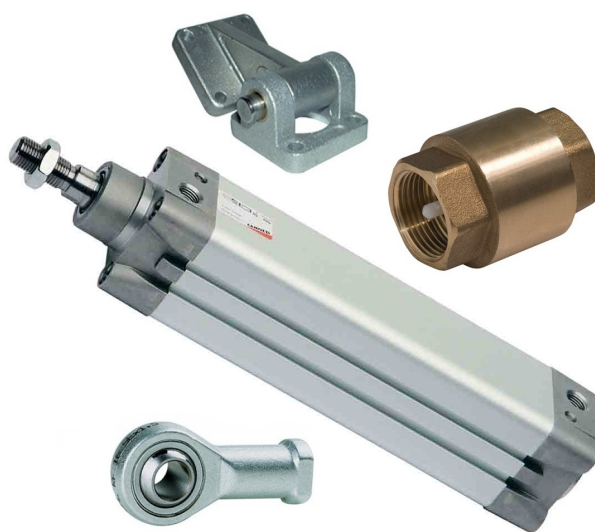
## Izrada prototipa

Po modelu definiranom u prethodnom poglavlju izvršen je izbor potrebnih komponenti sustava te je započelo njihovo međusobno povezivanje. S tim, da je potrebno naglasiti kako je, prilikom odabira komponenti te same izrade mehaničke konstrukcije, došlo do određenih izmjena, tj. odstupanja od simulacijskog modela ponajviše zbog ograničenosti financijskih sredstava i jednostavnosti same izvedbe fizičkog modela elektrane.

### 3.1 Komponente sustava

Prije same izrade prototipa odabrane su sve potrebne sastavne komponente. Bazen, gornji spremnik i čelična konstrukcija odabrani su kao što je to predstavljeno u prethodnom poglavlju.

- Pneumatski cilindar

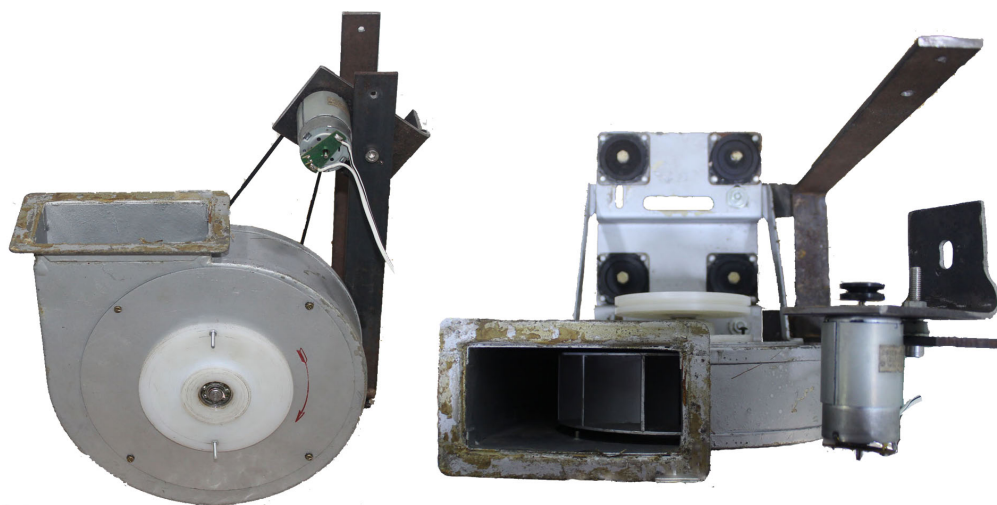


Slika 3.1: *Pneumatska oprema*[5]

Pneumatski cilindar je najčešći izvršni element (aktuator) u pneumatskim sustavima. U principu gibanje cilindra je linijsko (translacijsko), jedino je kod zakretnih cilindara zakretno (rotacijsko). Brzina klipa obično je 1 - 2 m/s (maksimalno do 10 m/s), hod: do 2,5 m (maksimalno do 12 m – za cilindre bez klipnjače), promjer cilindra: do 500 mm, sila: do 30 kN. Stupanj korisnog djelovanja obično se kreće u granicama od 70% do 90%. Brtve obično podnose temperaturu od -20 do 200 ° C. [25] Za pumpanje vode iz bazena u gornji spremnik odabran je dvoradni pneumatski cilindar talijanske tvrtke *Camozzi* serije 61 promjera  $\phi$  50 mm, hoda 150 mm. Košuljica cilindra izrađena je od aluminija dok su klip i klipnjača od nehrđajućeg čelika. Zajedno s njim odabran je potporanj cilindra, spojka klipnjače sa zglobovom te dva nepovratna ventila kako se jednom napumpana količina vode ne bi vraćala natrag zbog gravitacijske sile (3.1).

- Turbina

Vodna turbina je rotirajući motor koji preuzima energiju gibajuće vode. Razvijene su u 19. stoljeću i imale su široku primjenu u dobivanju industrijske snage prije pojave električnih mreža. Danas se pretežno koriste za dobivanje električne energije. Iskorištavaju čist i obnovljivi izvor energije. Tok vode se usmjerava na lopatice rotora turbine, stvarajući silu na lopaticama. Uzevši u obzir da se rotor vrti, sila djeluje na putu (sila koja djeluje na putu je definicija rada). Na taj način energija se prenosi sa toka vode na turbinu. Vodne turbine se dijele na dvije skupine: reaktivne turbine i impulsne turbine. Dakle, da bi se kinetička energija vode pretvorila u mehaničku potreban je mehanizam koji će to omogućiti, u ovom slučaju to je vodno kolo promjera 200 mm, širine lopatica 30 mm (3.2) koje je spojeno na generator. Vodno kolo se koristilo tisućama godina za dobivanje industrijske snage. Glavni nedostatak vodnog kola je veličina, koja ograničava iskoristivi protok i tlak. [26] Ovo je dobar primjer odstupanja od simulacijskog modela, odnosno, umjesto *Pelton*-ove turbine korišteno je vodno kolo zbog razloga navedenih u prethodnom tekstu.



Slika 3.2: Vodna turbina

- Generator

Generatori su rotacijski električni strojevi koji mehaničku energiju pogonskog stroja pretvaraju u električnu energiju. Prema vrsti električne struje koju proizvode mogu biti istosmjerni i izmjenični koji opet mogu biti jednofazni i trofazni. Generator sačinjava pokretni dio (rotor) i nepokretni dio (stator). Da bi nastala električna energija treba okretati rotor. Generator ima mnogo navoja žica. Svaki navoj žice pokreće izvjestan broj elektrona, a svi navoji zajedno stvaraju jaku električnu struju. Tako se u generatoru energija gibanja pretvara u električnu energiju. [27] U ovom slučaju, vrtnjom turbine (vodnog kola) zakreće se i osovina generatora koji proizvodi struju. Za tu funkciju odabran je reverzibilni istosmjerni motor koji pri 1000 okretaja u minuti daje 8 V DC s tim, da je spoj osovina turbine i generatora ostvaren remenim prijenosnikom omjera 1:5 (3.3).



Slika 3.3: *DC generator*[6]

- Napajanje

Akumulator je sekundarni električni članak, naprava (tzv. "spremnik energije") u kojoj se električna energija pretvara u kemijsku (punjenje akumulatora), ostaje u njoj pohranjena i zatim se, prema potrebi, može nanovo pretvoriti u električnu (pražnjenje). [28] Generator proizvodi struju koju je potrebno negdje pohranjivati kako bi se mogla napajati elektronika sustava. U tu svrhu odabran je 12 voltni akumulator FG 20121 talijanske tvrtke *Fiamm* kapaciteta 1,2 Ah maksimalne struje punjenja 0.3 A (3.4).



Slika 3.4: *Akumulator*[7]

- Monitor



Slika 3.5: *LCD monitor*[8]

LCD monitor (engl. liquid crystal display) je ravni, tanki monitor čiji je ekran sastavljen od određenog broja piksela koji su poredani ispred nekog svjetlosnog izvora. Rade na principu promjene polarizacije svjetlosti pomoću tekućih kristala koji su pod određenim naponom. Troše vrlo malo električne energije i zauzimaju malo prostora, što je idealno za prenosive uređaje sa ekranima. [8] Za ispisivanje trenutačnih vrijednosti sustava kao što su razina vode u gornjem spremniku, napon na akumulatoru i sl. odabran je LCD monokromatski monitor Standard Hitachi HD44780 koji može ispisivati 20 znakova u 4 reda (bijeli znakovi na plavoj pozadini) (3.5).

- Servomotor

Servomotori se razlikuju od ostalih istosmjernih motora po tome što su opremljeni servomehanizmom za upravljanje najčešće pozicijom, ali i brzinom zakretanja. Pretežno se koriste u robotskim i automatskim sustavima. Turnig servomotor (3.6) dimenzija 41 mm x 20 mm x 38 mm i mase 58 g radi na 5 V DC i služi kao aktuator upravljanja pražnjenjem gornjeg spremnika vode.



Slika 3.6: *Servomotor*[9]

- Senzor razine tekućine (vode) Da bi se moglo upravljati servomotorom potrebno je kontinuirano mjeriti razinu tekućine u gornjem spremniku te tu veličinu pretvoriti u neku digitalnu vrijednost "razumljivu" mikrokontroleru. Za to je potreban senzor razine



tekućine koji će kontinuirano mjeriti opisanu veličinu. Pored mnoštva proizvođača raznih vrsta senzora razine najisplativijom solucijom se pokazala konstrukcija vlastitog kapacitivnog senzora razine tekućine. Da bi se takvo što ostvarilo potrebno je upoznati se sa načinom takvog mjerenja. Naime, kapacitivno mjerenje funkcionira na principu mjerenja promjene kapaciteta između dvaju (pločastih) elektroda po izrazu (3.1). [29]

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{a \cdot h}{d} \quad (3.1)$$

Ukupni kapacitet je zbroj kapaciteta dvaju dijelova (od dna spremnika do razine tekućine i od razine tekućine do vrha spremnika):

$$C_{uk} = C_{tekucina} + C_{zrak}$$

$$C_{uk} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{r1} \cdot \frac{a \cdot h}{d} + \epsilon_0 \cdot \epsilon_{r2} \cdot \frac{a \cdot (L - h)}{d} = \epsilon_0 \cdot \frac{a}{d} \cdot [\epsilon_{r2} \cdot L - (\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2}) \cdot h] \quad (3.2)$$

Pa je promjena kapaciteta senzora razine (3.3):

$$\Delta C = -\epsilon_0 \cdot \frac{a}{d} \cdot (\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2}) \cdot h \quad (3.3)$$

gdje je:

$C$  - kapacitet senzora

$\epsilon_0$  - dielektričnost vakuumu ( $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$  As/Vm)

$\epsilon_r$  - relativna dielektričnost

$S$  - površina elektrode

$d$  - razmak između elektroda

$a$  - širina elektrode

$h$  - visina tekućine

$L$  - visina cijelog spremnika

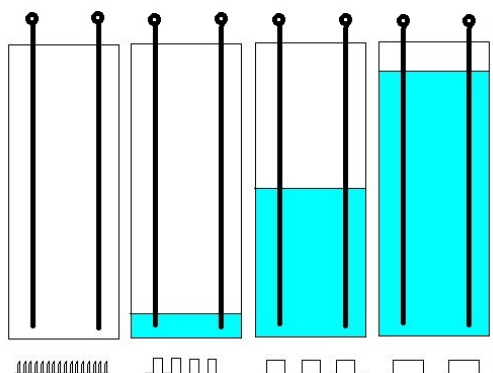
Postoji više izvedbi takvih senzora, ali u ovom radu je ostvaren pomoću jedne vitroplast pločice duljine 500 mm širine 20 mm sa dvijema podjednakim razdvojenim bakrenim površinama (dvije elektrode) (3.7).



Slika 3.7: Kapacitivni senzor



Kao što se vidi na slici (3.8) s promjenom razine tekućine u spremniku mijenja se i kapacitet između elektroda koji se pomoću integriranog kruga, objašnjenog u sljedećem poglavlju, pretvara u frekvenciju. Sada je to oblik informacije (signala) koji mikrokontroler "razumije" te je, shodno tome, moguća obrada navedene.



Slika 3.8: *Frekvencijski signal u ovisnosti o visini tekućine*

## 3.2 Montaža prototipa

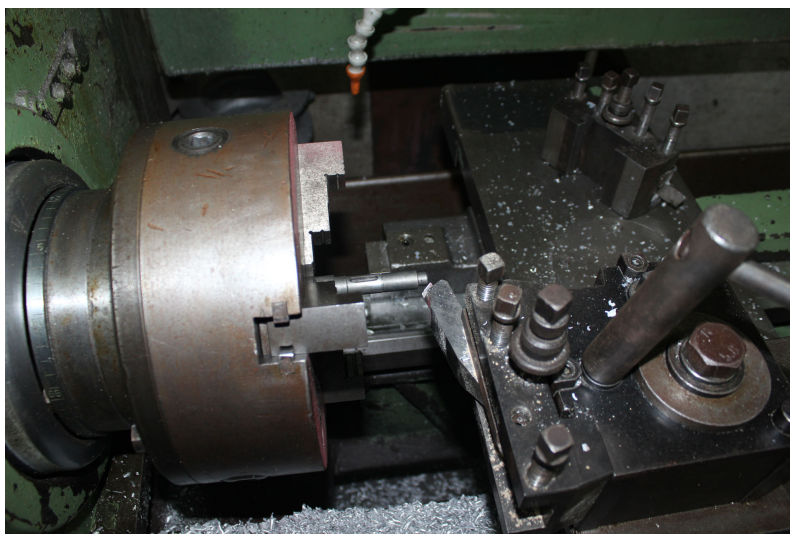
Kada su odabrane sve komponente, potrebno ih je međusobno povezati, tj. izvršiti njihovu montažu na mehaničku konstrukciju. To je ostvareno elektrolučnim zavarivanjem kvadratne čelične cijevi 1,5 m duljine, presjeka 50 x 50 mm debljine stijenke 2 mm na okvir od čeličnih L profila na koje se postavio teret u obliku betonskih blokova (3.9). Zatim je na čeličnu cijev zavaren nosač dvaju ležaja koji nose zadnji kraj plutače te joj omogućava rotiranje oko svoje vlastite krajnje osi.



Slika 3.9: *Zavarivanje čelične cijevi i nosača plutače*

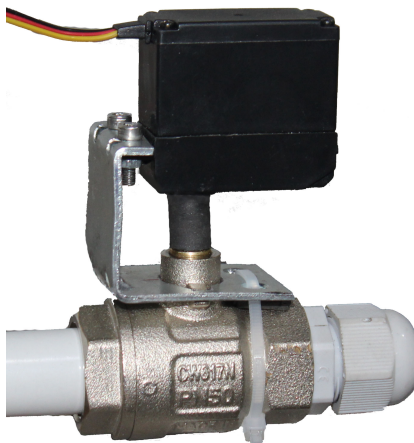
Plutača je, također izrađena zavarivanjem čeličnih L profila u okvir za polistirenski kvadar ojačan staklenim valknima i epoksidnim kitom. Plutača ima dimenzije 800 x 600 x 200

mm, a na 200 mm od uležištenog kraja zavaren je nosač na koji se spaja zglob klipnjače cilindra. Drugi dio (kućište cilindra) spojen je vijčanim spojem na čeličnu cijev mehaničke konstrukcije. Cijela opisana konstrukcija prijanja uz bazen (donji spremnik). Zbog male visine čelične cijevi gornji spremnik postavljen je na jedan zid visine 2,5 m. Na dnu bazena postavljen je mehanizam za pretvorbu kinetičke energije vode u električnu energiju koji se sastoji od vodne turbine (kola) i generatora. Kao što je već navedeno, veza između osovine turbine i rotora generatora ostvarena je remenim multiplikatorom s prijenosnim omjerom 1:5. Tako da su se istokarile dvije poliamidne remenice kao i osovina turbine (3.10). Veća remenica promjera  $\phi$  100 mm postavljena je na osovinu turbine, a manja ( $\phi$  20 mm) na osovinu generatora što u konačnici ostvaruje spomenuti prijenosni omjer.



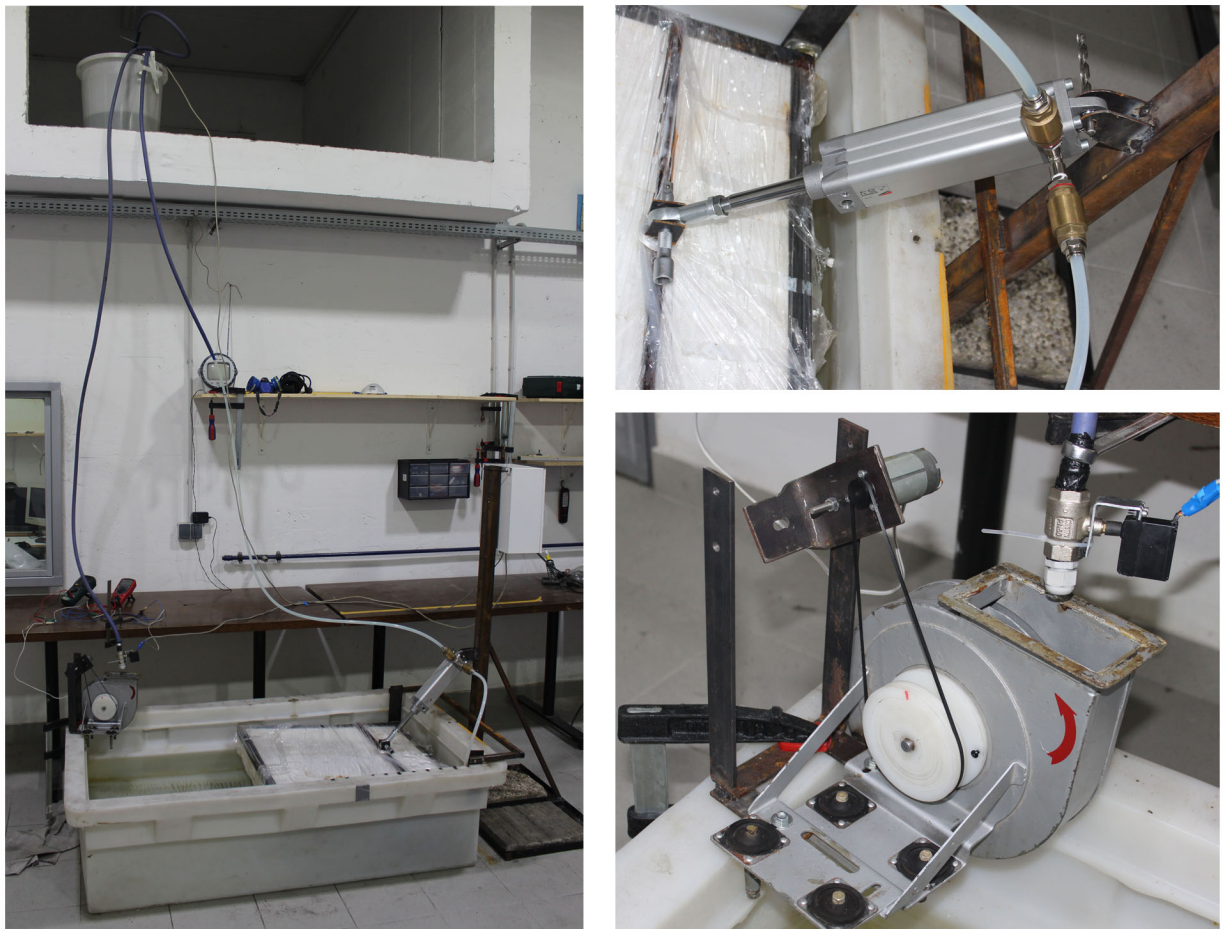
Slika 3.10: Tokarenje osovine turbine

Sustav je povezan crijevima kako je to opisano u simulacijskom modelu. Na izlaznom dijelu crijeva koje povezuje gornji spremnik i ulaz turbine instaliran je upravljački ventil (3.11) izveden spajanjem plastične sapnice na kuglasti ventil promjera 1/2" dok je na samo regulacijsko tijelo pričvršćen servomotor.



Slika 3.11: Upravljački ventil

Na kraju je kutija s upravljačkom elektronikom i akumulatorom postavljena na čeličnu cijev te kabelima povezana sa kapacitivnim senzorom razine tekućine, servomotorom i generatorom što je rezultiralo konačnim izgledom prototipa (3.12):



Slika 3.12: *Konačan izgled prototipa*

## Poglavlje 4

# Upravljačka elektronika

Kako bi se tiskana pločica upravljačke elektronike mogla izraditi potrebno je prvo projektirati shemu. Prema shemi slijedi projektiranje tiskane pločice (eng. Printed circuit board - PCB), a zatim i njena izrada te testiranje ispravnosti rada. Pri projektiranju upravljačke elektronike od velike važnosti je odabir mikrokontrolera koji je ujedno i mozak cijelog sustava jer prima sve informacije o sustavu sa senzora, obrađuje ih te, sukladno isprogramiranoj logici, djeluje putem raznih aktuatora, tj. izlaznih uređaja. Za tu funkciju, u ovom slučaju, predviđen je mikrokontroler ATMEGA8A tvrtke Atmel (4.1) koji prima informacije sa senzora razine, obrađuje ih te, shodno tome, šalje naredbe servomotoru za zatvaranje, tj. otvaranje dna gornjeg spremnika vode. Također ispisuje na LCD monitoru trenutačne informacije o sustavu te regulira punjenje akumulatora. Kako bi mikrokontroler mogao raditi potreban mu je oscilator koji mu daje takt, tj. frekvenciju rada. Odabran je oscilator od 8 MHz. Glavne karakteristike mikrokontrolera su:

- USART komunikacija,
- frekvencija do 16 MHz,
- 8 KB flash memorije,
- 512 B EEPROM memorije,
- 3 PWM izlaza,
- 2 8-bitna i 1 16-bitni timer,
- 1 KB SRAM memorije,
- 8-kanalni A/D konverter,
- Watchdog Timer,
- SPI sučelje. [30]



Slika 4.1: Mikrokontroler[10]

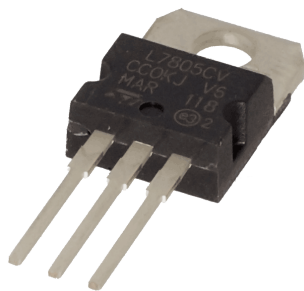


## 4.1 Projektiranje tiskane pločice

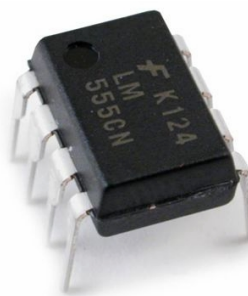
Tiskane pločice služe za učvršćivanje elektroničkih i elektromehaničkih komponenti za čvrstu podlogu i međusobnu električku povezanost. Kod projektiranja tiskane pločice, između ostalog, potrebno je voditi računa i o estetici prilikom rasporeda komponenata, a da pri tome tiskani vodovi budu što kraći. Projektiranjem se izrađuje shema montaže komponenata, shema tiskanih vodova i shema plana bušenja. Ako se radi o dvostranim pločicama potrebne su shema montaže i shema tiskanih vodova za svaku pojedinu stranu. Jednostavnije sheme mogu se nacrtati na papiru pomoću pribora za crtanje, ali danas se uglavnom koriste programi za projektiranje tiskanih pločica računalom (*Altium Designer*, *P-CAD*, *Protel*, *Ultiboard*, *Eagle*, *PADS* itd.). U ovom radu shema i tiskana pločica projektirani su u programu *Altium Designer*.

### 4.1.1 Projektiranje sheme

Shema prikazuje međusobnu povezanost između pojedinih komponenata, a njen prikaz dan je u prilogu (A). Na shemi se vidi kako pojedine komponente rade na 5 V. Znajući da se napon akumulatora kreće od 11 V - 14,4 V u ovisnosti da li je prazan ili pun potrebno je koristiti stabilizator napona za spomenute komponente. Za to je odabran stabilizator napona L7805CV (4.2) koji daje na izlazu 3,3 V i maksimalno 150 mA. Uz njega potrebno je dodati još nekoliko kondenzatora za pravilan rad. Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju stezaljke elektroda kapacitivnog senzora su spojene na nožice integriranog kruga (pretvornik) LM555CN (4.3) koji pretvara kapacitet u frekvencijski signal upotrebljiv mikrokontroleru.

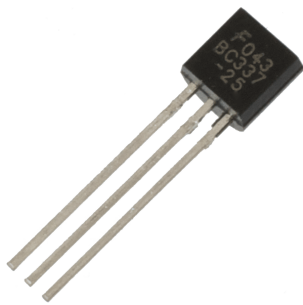


Slika 4.2: Stabilizator napona L7805CV[11]

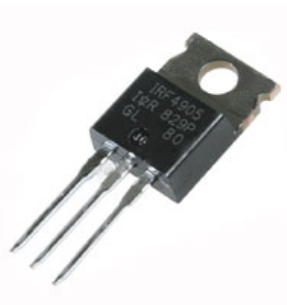


Slika 4.3: Timer LM555CN[12]

Regulator punjenja zadužen je za pravilno punjenje akumulatora. Budući da korišteni generator ne može dati više od maksimalne struje punjenja akumulatora (0,3 A) nije potrebno regulirati struju punjenja. Potrebno je samo osigurati da se punjenje isključi kad napon akumulatora dosegne 14,4 V, a ponovno uključi kad padne ispod 13 V. Tu funkciju obavlja mikrokontroler pomoću bipolarnog NPN tranzistora BC337 (4.4), mosfeta IRF4905 (4.5) te par otpornika i diode 1N4007 (4.6) koja spriječava obratni postupak - pražnjenje akumulatora preko generatora u slučaju nedovoljnog broja okretaja istog.



Slika 4.4: *Bipolarni tranzistor BC337*[13]



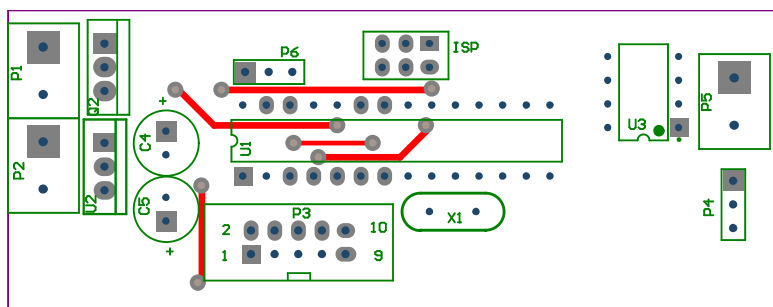
Slika 4.5: *Mosfet IRF4905*[14]



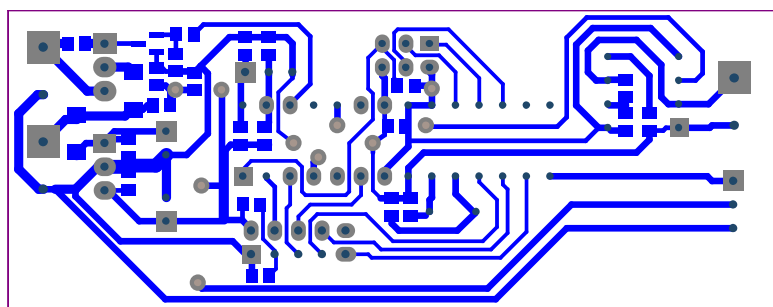
Slika 4.6: *Dioda 1N4007*[15]

### 4.1.2 Dizajniranje predloška

Nakon projektiranja elektroničke sheme izrađuju se predlošci za nanošenje zaštitnih maski, tj. slijedi dizajniranje tiskane pločice. Program automatiziranim procesom postavlja elemente dodane na shemu, uzimajući u obzir njihove realne oblike i dimenzije, kao i njihove međusobne veze. Elemente je potrebno razmjestiti unutar okvira koji predstavlja tiskanu pločicu, a zatim i izraditi spojeve među elementima. Na slikama (4.7) i (4.8) prikazan je završni izgled tiskane pločice - raspored komponenti i vodova.



Slika 4.7: *Komponente s gornje strane pločice*



Slika 4.8: *Izgled vodova na pločici*

## 4.2 Izrada tiskane pločice

Elektronički sklop predstavlja skup raznih elektroničkih komponenata koje su vodičima povezane određenim redom kako bi gotov elektronički sklop spojen u strujni krug obavljao

željenu funkciju. Povezivanje elektroničkih komponenata izvodi se na tiskanim pločicama. Najčešće korišteni materijal za tiskane pločice je FR-4 poznatiji kao vitroplast koji se sastoji od niza slojeva (7-9) staklenih tkanina impregniranih sa epoxy smolom na koji je kaširana (nalijepljena) bakrena folija sa jedne (jednostrana pločica) ili obje strane (dvostrana pločica). Dijelovi bakrene folije koji nakon tehnološke obrade ostanu sačuvani na tiskanoj pločici i služe za povezivanje elektroničkih komponenata nazivaju se tiskani vodovi. Tiskane vodove čine lemnna mjesta na koja se montiraju i spajaju izvodi elektroničkih komponenata i linije ili površine (poligoni) koji povezuju dva ili više lemnih mjesta. Širina tiskanih vodova ovisi o struji koja će protjecati kroz pojedini tiskani vod. Dozvoljeno opterećenje tiskanih vodova prikazano je u tablici (4.1), a zatim je opisan tijek tehnoloških operacija izrade tiskane pločice.

Tablica 4.1: Širina vodova s obzirom na dopuštenu struju [16]

ŠIRINA VODA		DOZVOLJENA STRUJA
mils	mm	A
15	0.381	1.0
30	0.762	2.3
50	1.27	3.5
100	2.54	6.0
1 mil = 1/100 inch = 0.0254 mm		

#### 4.2.1 Čišćenje bakrene površine

S obzirom da bakar korodira u dodiru sa zrakom, potrebno je prije nanošenja maske za tiskane vodove ukloniti oksidacijski sloj i prljavštinu sa bakrene površine tiskane pločice. To se može učiniti brušenjem profesionalnim strojem za četkanje bakrene površine tiskanih pločica, nitro razrjeđivačem, kućnim sredstvom za skidanje kamenca (Arf, Vim...), vibracijskom brusilicom ili najjednostavnije finom čeličnom vunom koja ne sadrži nikakve kemijske dodatke. Ako se bakrena površina čisti čeličnom vunom pločica se pobrusi najprije paralelno sa jednom stranicom tiskane pločice, a zatim se pločica zakrene za 90° i ponovi postupak. Nakon brušenja bakrenu površinu je potrebno protrljati po čistom papiru i više ne dodirivati prstima.

#### 4.2.2 Nanošenje zaštitnog sloja (maske)

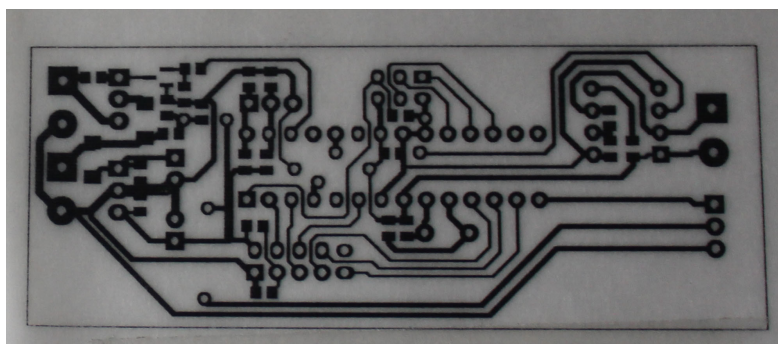
Ovisno o željenoj kvaliteti gotove tiskane pločice, količini i troškovima izrade, postoje razne tehnike nanošenja zaštitnog sloja (maske) na bakrenu površinu (foliju) gdje se želi sačuvati dijelove bakra kao tiskane vodove. Sredstva, tehnike ili postupci kojima je moguće nanijeti zaštitnu masku su:

- vodootporni flomaster,
- ljepljiva traka,

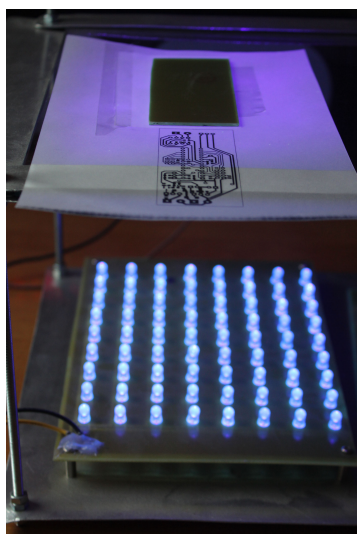
- letraset postupak,
- transfer postupak,
- sitotisak,
- fotopostupak.

## Fotopostupak

U ovom slučaju korišten je fotopostupak, pa je stoga isti i objašnjen. Postupak započinje nanošenjem krutog (folija) ili tekućeg fotoosjetljivog filma na čistu bakrenu foliju pločice uz prigušeno svjetlo. Kruti film se postavlja laminiranjem pri temperaturi od  $120^{\circ}\text{C}$  uz pritisak 2 do 3 bara, uređajem koji se zove laminator. Tekući film nanosi se pomoću spreja sa udaljenosti 20 - 30 cm pod kutom  $25^{\circ}$  -  $30^{\circ}$  od podloge. Sprej treba nanijeti ravnomjerno i u što tanjem sloju jer što je lak deblji treba ga duže sušiti, osvjetljivati i razvijati. Nakon toga je potrebno njegovo sušenje u potpunom mraku. Postupak sušenja će se skratiti ako se izvodi u pećnici na toplom zraku maksimalne temperature  $70^{\circ}\text{C}$ . Na foto-oslojenu pločicu pozicionira se prethodno isprintan pozitiv predložak (film ili folija) tiskane pločice (4.9) i zatim se vrši osvjetljavanje pločice UV svjetlom nekoliko minuta (oko 2 minute) (4.10) ili običnom štednom žaruljom 7-8 minuta. Kroz prozirne dijelove predloška UV svjetlo prodire na fotoosjetljivi film, a ispod crnih mjesta predloška fotoosjetljivi film ostaje neosvjetljen.



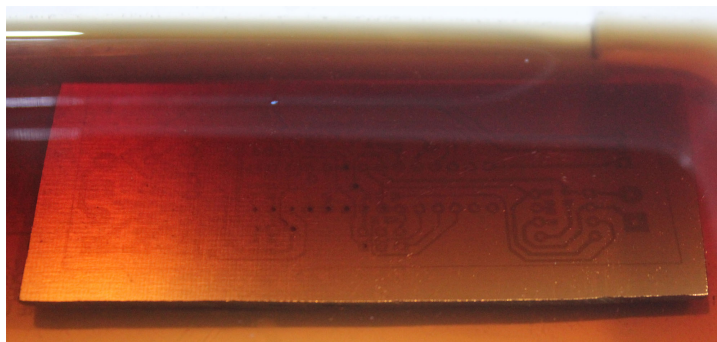
Slika 4.9: *Pozitiv predložak pločice*



Slika 4.10: *Osvjetljavanje pločice*



Osvjetljena pločica stavlja se u razvijач (4.11) za što se koristi 1%-tna otopina natrij karbonata ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ili otopina natrijeve lužine koja se dobiva tako da se 7 grama natrij hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) otopi u 1 litri hladne vode. Trajanje razvijanja kod svježeg razvijачa iznosi 0.5 do 1 minute ili maksimalno 2 min za deblje slojeve fotoosjetljivog filma.



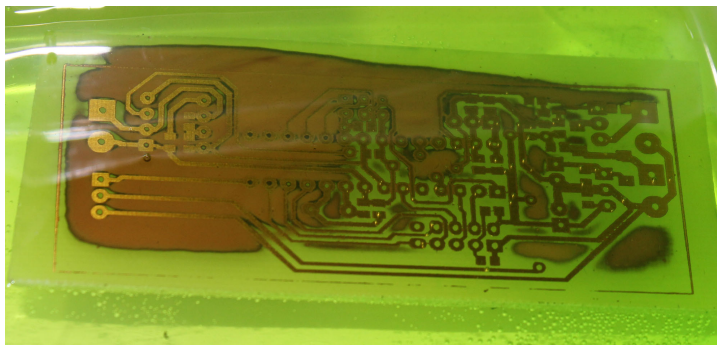
Slika 4.11: *Razvijanje pločice*

Nakon razvijanja pločica se ispere u vodi pri čemu će sloj filma ostati na dijelovima koji su prilikom osvjetljavanja bili zaštićeni crnim površinama predloška. Fotopostupak predstavlja najprecizniji način izrade zaštitne maske kod nagrizanja tiskane pločice, a osim za izradu maski za nagrizanje koristi se za izradu maski za metalizaciju i lemno otpornih, elektro izolacijskih maski.

### 4.2.3 Jetkanje pločica

Nakon što je nanescena zaštitna maska vrši se jetkanje ili nagrizanje nazaštićenih dijelova bakrene folije (4.12). Jetkanje se izvodi kemijskim postupcima, a najpogodnija otopina za jetkanje u 1 l otopine sadrži:

- 770 ml vode
- 200 ml solne kiseline ( $\text{HCl}$ ) koncentracije 30%
- 30 ml vodikovog superoksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) koncentracije 30%



Slika 4.12: *Jetkanje pločice*

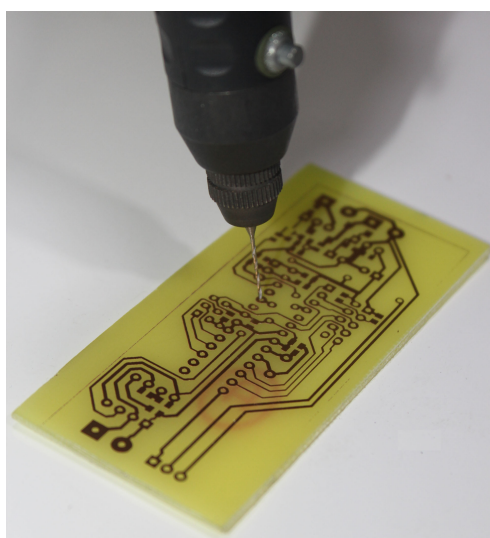
Solna kiselina i vodikov superoksid su opasne, nagrizajuće i agresivne tekućine, te je prilikom rukovanja potreban najveći oprez i obavezna upotreba zaštitnih sredstava (zaštitne naočale, rukavice i pregača). Otopina se priprema tako da se prvo u vodu ulije solna kiselina, a zatim superoksid. Postupak jetkanja traje nekoliko minuta, a može se ubrzati strujanjem otopine u posudi upuhivanjem zraka u otopinu pomoću električne pumpe za zrak ili laganim ljuljanjem posude u kojoj se vrši jetkanje. Kada bakrena folija nestane sa svih nezaštićenih dijelova, jetkanje je završeno, a pločica se ispere u vodi i osuši.

#### 4.2.4 Skidanje (čišćenje) maske sa tiskanih vodova

Nakon jetkanja potrebno je odgovarajućim otapalom, npr. aceton ili nitro razrjeđivač, skinuti sloj fotolaka sa tiskanih vodova na pločici, a za zaštitu od korozije istih pločica se može preprskati plastic lakom ili pokositriti. Kositrenje se provodi tako što se lemilica lagano prsloni uz bakar, doda se lemne žice i u tankom sloju razmaže po površini.

#### 4.2.5 Bušenje provrta

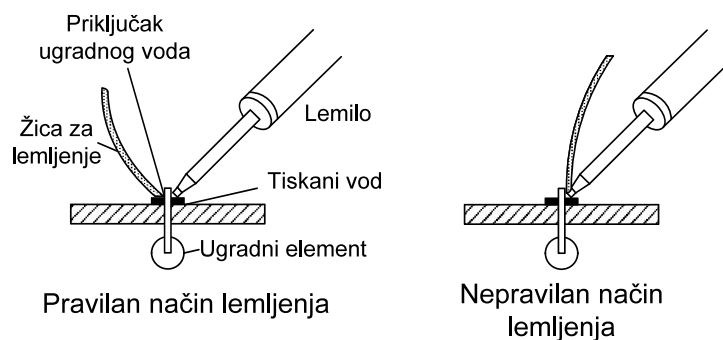
Na lemnim mjestima potrebno je pomoću stolne bušilice probušiti provrte (4.13), a promjer odabranog svrdla ovisi o promjeru ili širini izvoda komponente koja se kroz pripadajuće provrte montira. Tiskane pločice trebaju se bušiti pažljivo i odgovarajućom brzinom vrtnje svrdla. Brzina vrtnje ovisi o materijalu upotrijebljenog svrdla i njegovog reznog kuta, pa i materijala od kojeg je izrađena tiskana pločica. Postoje posebna vidića svrdla za bušenje vitroplast tiskanih pločica jer obična svrdla nakon stotinjak rupa više nisu za uporabu. Preporuča se korištenje što veće brzine vrtnje, jer će provrti biti kvalitetniji, a bušenje će kraće trajati. Uobičajeni promjeri svrdla su 0.8 mm, 0.9 mm, 1.0 mm, a prema potrebi i 1.1 mm i 1.2 mm, što ovisi o promjeru priključaka sastavnih elemenata.



Slika 4.13: *Bušenje pločice*

## 4.2.6 Lemljenje

Lemljenje je najvažnija radnja pri sastavljanju elektroničkih sklopova, stoga je najprije potrebno naučiti kako se ispravno provodi. Za početak, potrebno je lemilo 18-30 W i tinol žica debljine 0,6-1,5 mm. Najveća pogreška je kada se na vrh lemila pritisne žica za lemljenje, tako se dobije kapljica rastopljenog kositra koja se donosi na mjesto gdje treba ostvariti spoj. Pravilan način (4.14) je da se vrhom lemila zagrijava priključna žica elektroničkog elementa. Ona prvo otopi sredstvo za lemljenje koje zalije čitavo mjesto spoja, na koje se onda u nastavku razlije rastopljeni kositar. Vrh lemila se ne smije odmaknuti odmah već treba pričekati da kositar poprimi jednoličnu srebrnu boju. Dobar lemni spoj je, nakon što se ohladi, gladak, a boja mu je mat-srebrna.



Slika 4.14: *Pravilan i nepravilan način lemljenja* [16]

Uz pojam lemljenja često se javlja i pojam hladnih spojeva. To su spojevi koji su na prvi pogled u redu, ali su zapravo trajno ili povremeno bez kontakta. Hladni spojevi mogu nastati odmah, ali i nakon nekog vremena. Hladni spojevi se izbjegavaju dovoljno dugim držanjem lemila na mjestu koje se lemi, no ne valja pretjerati, jer može doći do oštećenja osjetljivih poluvodičkih sastavnih elemenata ili bakrene folije. U takvim situacijama obično nema druge pomoći nego "pokrpati" mostovima od žice što, iako je praktično, kvari estetski izgled i "profesionalnost" tiskane pločice.

## 4.2.7 Programiranje mikrokontrolera

Da bi mikrokontroler, s obzirom na informacije koje mu dolaze sa senzora, mogao donositi željene zaključke o djelovanju potrebno je pridodati mu odgovarajuću inteligenciju (logiku) u obliku programa. Takav proces se naziva programiranje. Kod za mikrokontroler pisan je u C jeziku u programu MikroC PRO for AVR tvrtke Mikroelektronika. Program ima mnoštvo gotovih funkcija pa se programiranje svodi samo na rješavanje problema koji mikrokontroler treba izvršavati. Tako napisan kod, program prevodi u strojni jezik koji je razumljiv mikrokontroleru. Kako bi se taj kod prenio u mikrokontroler potreban je programator. U ovom slučaju je korišten programator AVR MKII (4.15) tvrtke Atmel koji se spaja na ISP port za programiranje. Cijeli programski kod priložen je u dodatku (B).



Slika 4.15: ATMEL AVR MKII programator

### 4.3 Financijska konstrukcija

Financijska konstrukcija predstavlja okvirnu ideju o ukupnoj vrijednosti projekta. Izrađuje se prema potrebnim aktivnostima, a modificira se tijekom izvođenja projekta. Tablica (4.2) prikazuje cijene komponenti potrebnih za izradu fizičkog modela elektrane na valove. Cijena realnog sustava je mnogostruko veća, ali za konkretnije podatke potrebna je detaljna analiza sustava. No, to je sljedeća faza ovog projekta, a ujedno i dovoljno opširna tema za još jedan diplomski rad, pa će u ovom biti izostavljena. Ipak, treba naglasiti da se u realnom sustavu, osim troškova predstavljenih u tablici (4.2), pojavljuju i troškovi održavanja koji su prisutni tijekom cijelog radnog vijeka opisanog sustava.

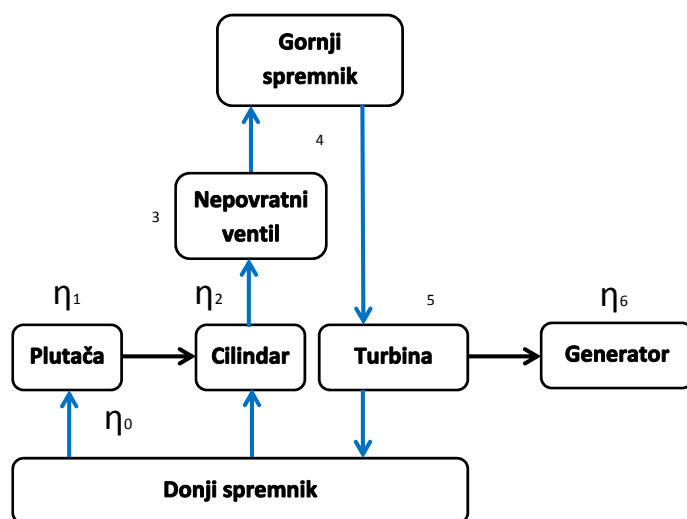
Tablica 4.2: Financijska konstrukcija izrade prototipa

NAZIV PROIZVODA/USLUGE	JEDINICA MJERE	KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA (kn)	CIJENA (kn)
Polietilenski bazen	KOM	1	450,65	450,65
Spremnik za vodu	KOM	1	300,00	300,00
Izrada čelične konstrukcije	KOM	1	200,00	200,00
Turbina	KOM	1	245,10	245,10
Generator	KOM	1	578,20	578,20
Akumulator	KOM	1	130,30	130,30
Izrada plutače	KOM	1	250,00	250,00
Kutija za elektroniku	KOM	1	125,00	125,00
Mikrokontroler	KOM	2	28,00	56,00
Regulator napona	KOM	2	7,00	14,00
LCD monitor 20x4	KOM	1	102,32	102,32
Izrada tiskane pločice	KOM	1	150,00	150,00
Elektronički materijal	KOM	1	200,00	200,00
Servomotor	KOM	1	408,02	408,02
Kapacitivni senzor razine	KOM	1	100,00	100,00
Pneumatski cilindar s pripadajućim elementima	KOM	1	1580,40	1580,40
Nepovratni ventil	KOM	2	65,95	131,90
Poliuretansko crijevo	M	5	18,25	91,25
			<b>Ukupno: 5113,14 kn</b>	

## Poglavlje 5

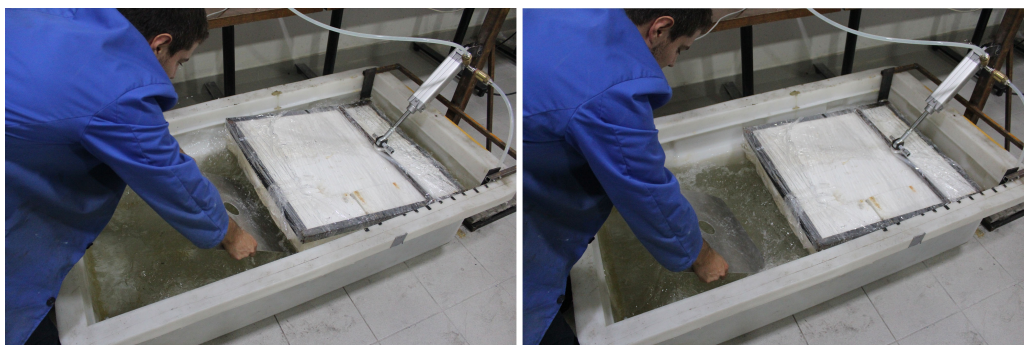
# Eksperimentalno ispitivanje sustava

Nakon što je cijeli sustav izrađen provedeno je testiranje istog u svrhu dobivanja podataka na temelju kojih je izveden zaključak o iskoristivosti sustava te njegovoj svrsishodnosti. Sam eksperiment (5.1) je podijeljen na dva dijela: ispitivanje sustava podizanja vode na visinu (pumpa na valove) i ispitivanje sustava spuštanja iste u ishodišni bazen (hidroelektrana).



Slika 5.1: Grafički prikaz eksperimenta

Bitno je naglasiti kako je u oba slučaja korištena slatka voda umjesto morske, a valovi su proizvođeni ručno, tj. ljudskim radom (5.2).



Slika 5.2: Proizvodnja valova

## 5.1 Ispitivanje sustava podizanja vode

Ovaj sustav sastoji se od proizvodnje valova koji podižu i spuštaju plutaču povezanu s klipnjačom, tj. klipom koji preko dva nepovratna ventila crpi vodu iz donjeg spremnika (bazena) te ju šalje u gornji. Dakle, eksperimentalno ispitivanje sadržava mjerenje sile na plutači, u cilindru, hod klipnjače (klipa) cilindra te vremena potrebnog da se napuni gornji spremnik vodom. Također je provedeno mjerenje fizikalnih veličina potrebnih za izračun energije proizvedenih valova po izrazu (5.1):

$$E_{valovi} = \frac{\rho \cdot g^2}{64 \cdot \pi} \cdot H_{m0}^2 \cdot T \cdot B \cdot t_{punjenje} = 478,64 \cdot H_{m0}^2 \cdot T \cdot B \cdot t_{punjenje} \quad (5.1)$$

S obzirom na izmjerene podatke o srednjoj visini valova ( $H_{m0}=0.1$  m), periodu valova ( $T=3$  s), duljini plutače ( $B=0,7$  m) te vremenu punjenja gornjeg spremnika ( $t_{punjenje}=15$  min= $900$  s), ukupna energija valova (5.2) iznosi:

$$E_{valovi} = 478,64 \cdot 0,1^2 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 900 = 9046,3 \quad \text{J} \quad (5.2)$$

Nadalje je dinamometrom izmjerena potrebna sila da se podigne sama plutača ( $F_{plutaca}=140$  N) kao i sila potrebna da se zahvaćena voda iz donjeg spremnika pošalje kroz cilindar ( $F_{ulaz}=100$  N). Kako bi se izračunala energija gibanja plutače (5.4) potrebno je izmjeriti pomak ( $l$ ) iste, a to je izvedeno na način da je pomičnim mjerilom izmjeren pomak točke spoja zgloba klipnjače cilindra i plutače za vrijeme njezinog gibanja što odgovara korištenom hodu klipnjače. Također je izračunat broj ciklusa pumpanja vode ( $c$ ) potrebnih da se napuni gornji spremnik (5.3) tako da je podijeljen ukupni volumen gornjeg spremnika vode ( $V = 0,05 \text{ m}^3$ ) sa volumenom korištene zapremnine cilindra ( $V_{ciklus} = r_{klip}^2 \cdot \pi \cdot s_{klip} = 0,025^2 \cdot \pi \cdot 0,06 = 0,1178 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ).

$$c = \frac{V}{V_{ciklus}} = \frac{0,05}{0,1178 \cdot 10^{-3}} \approx 425 \quad (5.3)$$

$$E_{plutaca} = (F_{plutaca} + F_{ulaz}) \cdot l \cdot c = (140 + 100) \cdot 0,06 \cdot 425 = 6120 \quad \text{J} \quad (5.4)$$

Energija gibanja klipnjače cilindra je dobijena mjerenjem puta ( $s_{klip}=0,06$  m) koji klipnjača prijeđe u vremenskom intervalu trajanja jednog istiska vode zapremnine cilindra (korišteni hod) (5.5).

$$E_{ulaz} = F_{ulaz} \cdot s_{klip} \cdot c = 100 \cdot 0,06 \cdot 425 = 2550 \quad \text{J} \quad (5.5)$$

U svrhu određivanja korisnosti cilindra potrebno je izračunati i energiju na izlazu cilindra (5.6) preko tlaka u cilindru ( $p_{cilindar} = 0,5 \cdot 10^5$  Pa) koji proizlazi iz zbroja poznatog pada tlaka na nepovratnom ventilu ( $\Delta p_{ventil} = 0,25 \cdot 10^5$  Pa) i hidrostatskog tlaka vode na visini  $h=2,5$  m ( $p_h = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \approx 0,25 \cdot 10^5$  Pa).

$$E_{izlaz} = p_{cilindar} \cdot V_{ciklus} \cdot c = 0,5 \cdot 10^5 \cdot 0,1178 \cdot 10^{-3} \cdot 425 = 2503,5 \quad \text{J} \quad (5.6)$$

Energija podizanja vode do gornjeg spremnika (od nepovratnog ventila) po izrazu (5.7) iznosi:

$$E_{ventil} = \Delta p_{ventil} \cdot V_{ciklus} \cdot c = 0,25 \cdot 10^5 \cdot 0,1178 \cdot 10^{-3} \cdot 425 = 1251,7 \quad \text{J} \quad (5.7)$$

Zatim je izračunata potencijalna energija napunjenjog gornjeg spremnika poznatog volumena koja po zakonu o očuvanju energije odgovara iznosu energije pražnjenja spremnika (5.8):

$$E_{punjenje} = E_{praznjenje} = mgh = \rho \cdot V \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 0,05 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 1226,3 \quad \text{J} \quad (5.8)$$

Iz prethodnih izraza mogu se izračunati iskoristivosti plutače u odnosu na valove (5.9) i cilindar (5.10), cilindra (5.11), nepovratnog ventila (5.12) te crijeva koje se proteže od donjeg spremnika (bazen), preko cilindra i nepovratnih ventila, do gornjeg spremnika (5.13).

$$\eta_0 = \frac{E_{plutaca}}{E_{valovi}} = \frac{6120}{9046,3} = 0,6765 = 67,65 \quad \% \quad (5.9)$$

$$\eta_1 = \frac{E_{ulaz}}{E_{plutaca}} = \frac{2550}{6120} = 0,4167 = 41,67 \quad \% \quad (5.10)$$

$$\eta_2 = \frac{E_{izlaz}}{E_{ulaz}} = \frac{2503,5}{2550} = 0,9817 = 98,17 \quad \% \quad (5.11)$$

$$\eta_3 = \frac{E_{ventil}}{E_{izlaz}} = \frac{1251,7}{2503,5} = 0,5 = 50 \quad \% \quad (5.12)$$

$$\eta_4 = \frac{E_{punjenje}}{E_{ventil}} = \frac{1226,3}{1251,7} = 0,9796 = 97,96 \quad \% \quad (5.13)$$

Iz prethodnoga je primjetno da je gubitak na plutači najveći, a na crijevu najmanji. Razlog tome je predimenzionirana plutača (teža od potrebnog). Također je vidljivo da je gubitak na cilindru mali što ukazuje na malo trenje na brtvi istog, dok zbog pada tlaka na nepovratnim ventilima od 0,25 bara gubitak na tom dijelu iznosi 50 %. Sve to dovodi do iskoristivosti cijelog ovog dijela sustava ( $\eta_I$ ) (5.14):

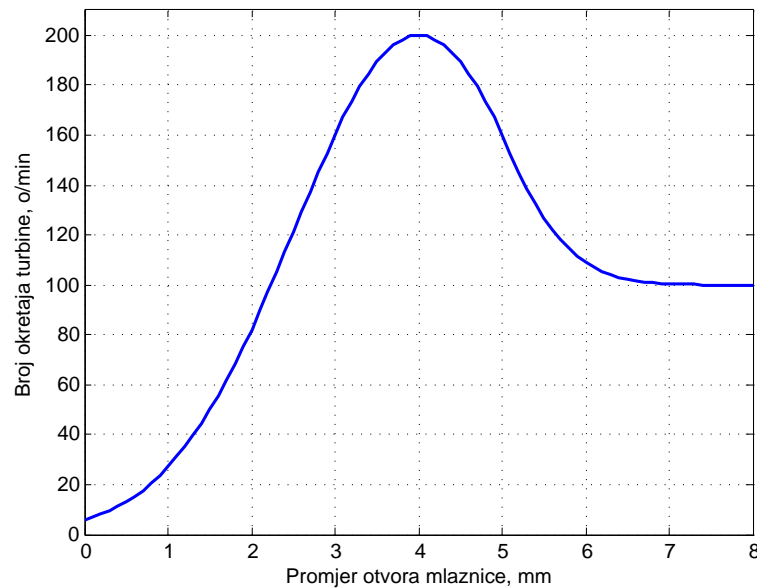
$$\eta_I = \eta_0 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = \frac{E_{punjenje}}{E_{valovi}} = \frac{1226,3}{9046,3} = 0,1356 = 13,56 \quad \% \quad (5.14)$$

## 5.2 Ispitivanje sustava spuštanja vode

Ovaj dio sustava se svodi na klasičnu hidroelektranu odnosno proizvodnju električne energije iz kinetičke energije slobodnog pada vode s neke visine preko turbine i generatora za vrijeme pražnjenja gornjeg spremnika ( $t_{\text{praznjenje}}=120$  s). Provjereno je ponašanje sustava u praznom hodu, kratkom spoju, ali i u režimu rada sa opterećenjem (LED diode). Pošto se turbina nalazi na približno istoj visini kao i cilindar, energiji vode prije turbine (5.15) pridružuje se vrijednost:

$$E_{\text{mlaznica}} = E_{\text{praznjenje}} \cdot \eta_4 = 1226,3 \cdot 0,9796 = 1201,3 \quad \text{J} \quad (5.15)$$

Nadalje je provjeren optimalan promjer mlaznice (5.3), tj. onaj koji daje maksimalnu snagu, a to se, opet, izvelo na način da je najprije uvodnica na upravljačkom ventilu namještena na najmanji mogući promjer te je isti polako povećavan dok je pritom praćeno ponašanje broja okretaja osovine turbine što je, na kraju, ishodovalo krivuljom na grafičkom prikazu rezultata. Mjerenje otvora mlaznice je izvršeno pomičnim mjerilom, a iz dijagrama je vidljivo kako je idealan promjer otvora mlaznice 4 mm za koju turbina dostiže maksimalnih 200 o/min, odnosno maksimalnu snagu.



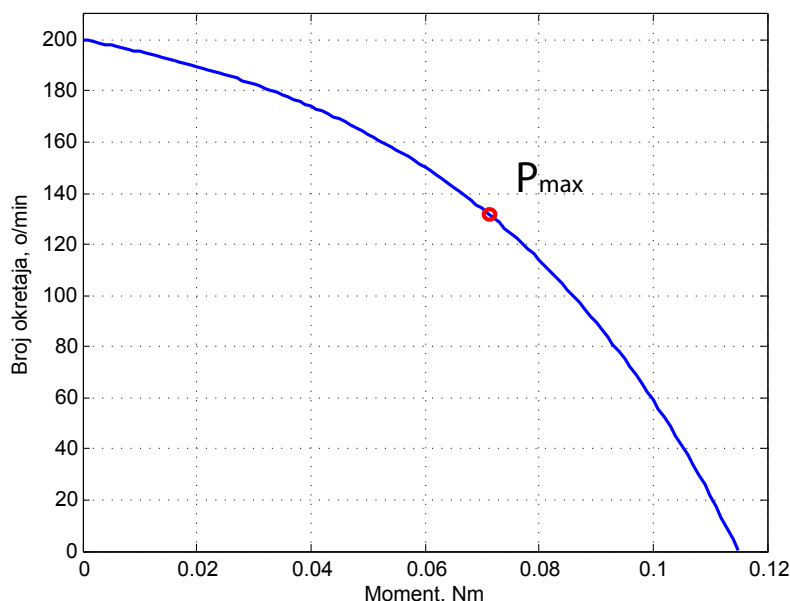
Slika 5.3: *Optimalan promjer mlaznice*

Zatim su izvršena ispitivanja turbine, tj. izmjeren je maksimalni moment dok turbina miruje (kratki spoj -  $M=0,115$  Nm,  $n=0$  o/min) te je snimljen broj okretaja u minuti bez opterećenja (prazni hod -  $M=0$  Nm,  $n=200$  o/min). Na temelju tih podataka izvedena je karakteristika turbine (5.4) iz koje se izvukao slučaj maksimalne snage ( $M=0,071$  Nm,  $n=132$  o/min) (5.16).

$$E_{\text{turbina}} = M \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot t_{\text{praznjenja}} = 0,071 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 132}{60} \cdot 120 = 117,77 \quad \text{J} \quad (5.16)$$

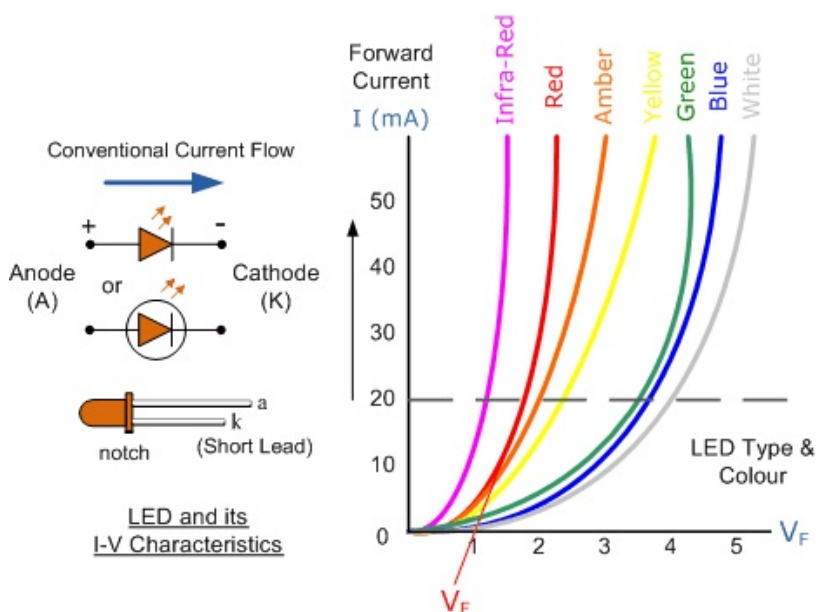


Na osovini turbine postavljena je veća remenica dok se manja nalazi na osovini rotora generatora što ima za posljedicu prijenosni omjer 1:5 (remeni multiplikator). Analogno tome, u praznom hodu, broj okretaja u minuti na osovini generatora je 1000 što odgovara naponu  $U=8,5\text{ V}$  ( $I=0\text{ A}$ ), dok je struja kratkog spoja  $I=90\text{ mA}$  ( $U=0\text{ V}$ ).



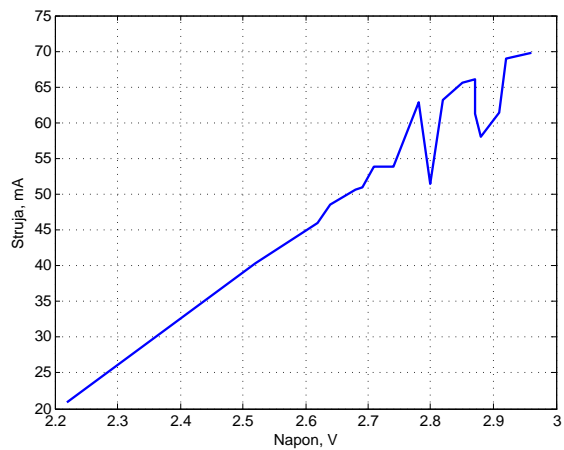
Slika 5.4: Karakteristika turbine

Kao što je već rečeno, osim praznog hoda i kratkog spoja, ponašanje generatora ispitano je i pod različitim opterećenjem u tri slučaja (slike od (5.6) do (5.11)), a svaki od njih je izveden tako da je na stezaljke generatora spojeno opterećenje u obliku LED diode ili njih više. Također je u seriju spojen ampermetar kako bi se mogla mjeriti struja te voltmetar u paralelu da bi se mjerio napon. U eksperimentu su korištene crvene i zelene LED diode, a neke od osnovnih podataka o istim mogu se iščitati iz slike (5.5).

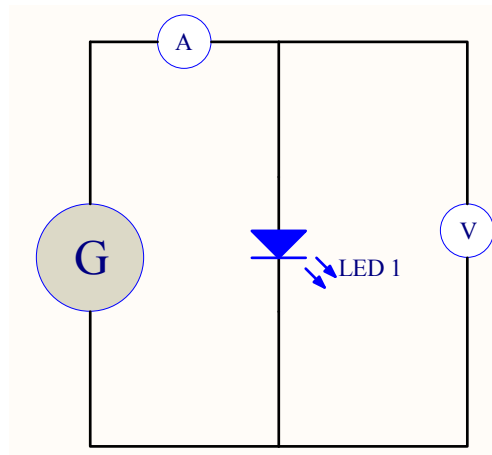


Slika 5.5: Karakteristika LED dioda[17]

- 1 LED dioda

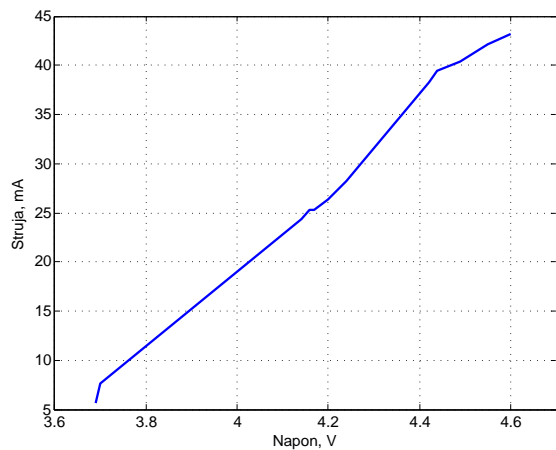


Slika 5.6: Grafički prikaz rezultata

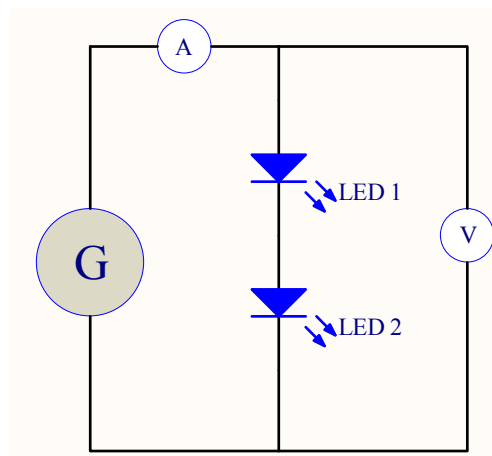


Slika 5.7: Shema spoja

- 2 LED diode

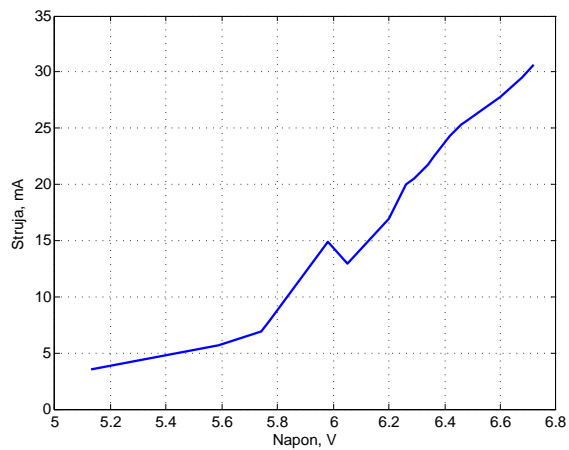


Slika 5.8: Grafički prikaz rezultata

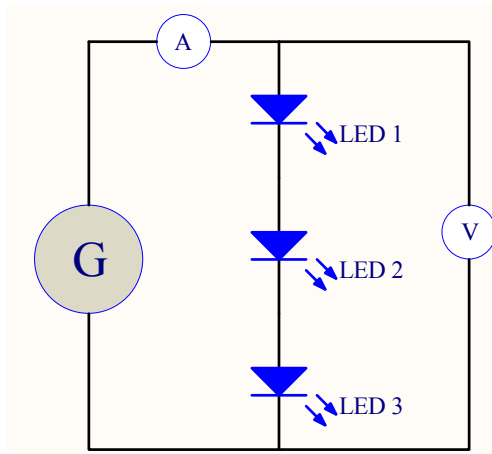


Slika 5.9: Shema spoja

- 3 LED diode

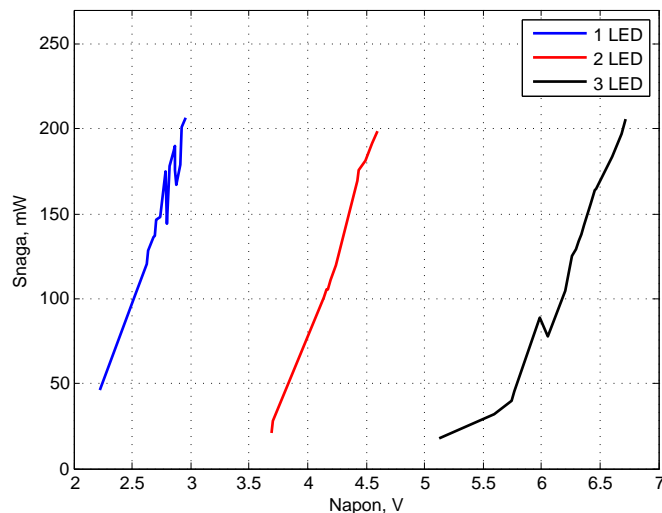


Slika 5.10: Grafički prikaz rezultata



Slika 5.11: Shema spoja

Na sva tri grafa se jasno vidi da porastom napona, koji je razmjernan broju okretaja u minuti osovine generatora, raste i struja što upućuje na porast snage. Na prvom i trećem grafu vidljiva su manja propadanja, tj. oscilacije koje se javljaju tijekom mjerenja, a razlog tome je slučajna promjena kuta pod kojim voda iz mlaznice udara od lopatice turbine jer mlaznica nije sasvim fiksirana zbog fleksibilnosti mjerenja. Pregled rezultata vršnih vrijednosti dan je slikom (5.12) iz koje se vidi da je prosječna izlazna snaga generatora 0,21 W pa se ta vrijednost i koristi pri izračunu energije na izlazu generatora (5.17).



Slika 5.12: Snaga generatora pod opterećenjem

$$E_{generator} = P_g \cdot t_{praznjenja} = 0,21 \cdot 120 = 25,2 \quad \text{J} \quad (5.17)$$

Nakon što su svi potrebni podaci prikupljeni izračunata je korisnost turbine (5.18) i generatora (5.19), a zatim i iskoristivost ovog dijela sustava (5.20).

$$\eta_5 = \frac{E_{turbina}}{E_{mlaznica}} = \frac{117,772}{1201,3} = 0,098 = 9,8 \quad \% \quad (5.18)$$

$$\eta_6 = \frac{E_{generator}}{E_{turbina}} = \frac{25,2}{117,772} = 0,214 = 21,4 \quad \% \quad (5.19)$$

$$\eta_{II} = \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 = \frac{E_{generator}}{E_{praznjenje}} = \frac{25,2}{1226,3} = 0,0206 = 2,06 \quad \% \quad (5.20)$$

$$\eta_{uk} = \eta_I \cdot \eta_{II} = \frac{E_{generator}}{E_{valovi}} = \frac{25,4}{9046,3} = 0,0028 \approx 0,3 \quad \% \quad (5.21)$$

Korisnosti (5.18) i (5.19) su jako male zbog toga što sadržavaju gubitke na ležajima, kao i samim lopaticama turbine, remenom prijenosu i generatoru. Uzrok tim i takvim iznosima gubitaka je loša izvedba svega navedenog što je posljedica, kao što je već rečeno, financijske ograničenosti, a sve to dovodi do malog stupnja iskoristivosti cijelog modela (5.21).

# Poglavlje 6

## Smjernice za izradu realnog sustava

Eksperimentalno ispitivanje sustava urodilo je rezultatima na temelju kojih je izveden zaključak o iskoristivosti kako cijelog sustava u cjelini, tako i svakog pojedinog njegovog elementa. To se pokazalo od velike pomoći pri projektiranju i planiranju realnog sustava jer su ti zaključci ukazali na koje je komponente potrebno obratiti pozornost te na koji način modificirati iste kako bi se sustav doveo u optimalno stanje.

### 6.1 Smještaj elektrane

Krenuvši od početka sustava, najprije treba napomenuti kako se realna elektrana na morske valove može instalirati kako uz obalu tako i na pučini. Prednost prvog slučaja je lakši transport energije do korisnika no, s druge strane, mana mu je manja iskoristiva snaga valova. Kod drugog primjera situacija je obratna. Ali, kako je sama ideja ovog rada potaknuta potrebama za električnom energijom otoka i gradova na području Jadrana, ipak prednost ima prva solucija ugradnje. Još jedan vid primjene ovog principa iskorištavanja energije morskih valova je opskrbljivanje morskom vodom za sanitarne svrhe u kućanstvima. Naime, prvi dio sustava (podizanje vode na visinu) pumpa morsku vodu u velike plastične cisterne koje su smještene iznad kuća te, slobodnim padom, ta morska voda puni vodokotlić. Još je važno napomenuti da je, s obzirom na jake udare morskih valova o obalu, posebice u zimskom periodu, potrebno voditi računa i o zaštiti sustava od oštećivanja osjetljivijih elemenata (plutača, cilindar).

### 6.2 Plutača

Mjerenja su pokazala da je sila podizanja plutače veća od sile u cilindru koji pumpa vodu. Dakle, očito je da je plutača u ovom slučaju predimenzionirana, odnosno preteška što upućuje na to da, pri projektiranju plutače, treba pripaziti da njezina masa bude dovoljno velika da, pri spuštanju, može upumpati vodu odgovarajuće zapremnine cilindra, ali i da, pri podizanju, može prenijeti potrebnu silu na klipnjaču, pa na klip cilindra te potjerati zahvaćenu vodu prema gornjem spremniku. Potrebno je i, uz obalu na mjestu ugradnje, postaviti betonske

temelje na koje će se pričvrstiti kućišta s ležajima za plutaču. Ležaji moraju biti dobro zabrtvljeni kako bi se zaštitili od utjecaja korozije morske vode. I okvir plutače koji se spaja s klipnjačom cilindra treba zaštititi od agresivnosti mora pa ga je potrebno napraviti od nehrđajućeg čelika ili od običnog čelika presvučenog nekakvom vrstom zaštite.

## 6.3 Cilindar

S obzirom da se u realnom sustavu koristi morska umjesto slatke vode naravno da to iziskuje oprez pri odabiru svih komponenti pa tako i cilindra. U prvom redu pojava korozije je možda i najizraženija u priobalnim uvjetima rada gdje se dolazi u kontakt s morem jer je slana voda puno agresivnija od slatke. Stoga je preporučljivo izraditi cilindar od duplex (feritno-austenitni) nehrđajućeg čelika tzv. Sandvik SAF 2205 sa jako malim trenjem što, doduše, u početku podiže cijenu elektrane, ali zato traje i do 10-ak godina u navedenim uvjetima rada. Na jednu plutaču moguće je postaviti i više od jednog cilindra, ali to povećava zahtjev za masom plutače. Isto tako, može se više modula (plutača + cilindar) vezati na istu cijev čime bi se postiglo brže punjenje gornjeg spremnika. Oslonac cilindra s gornje strane može se izvesti pomoću betonskog stupa čime se, na jeftin način, izbjegava pojava korozije na tom dijelu sustava.

## 6.4 Gornji spremnik

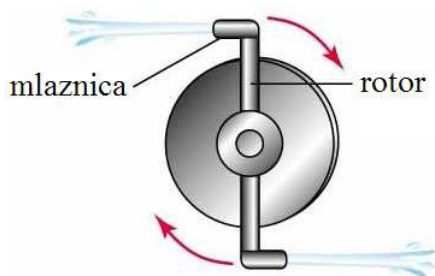
Akumulacijski bazen se može izraditi od armiranog betona što je moguće većih proporcija kako se ne bi dogodilo da isti ostane bez vode. Dakle količina vode koja ulazi u spremnik mora biti veća od one koja se pušta prema turbini u istom vremenskom intervalu. Taj bazen bi se trebao nalaziti na što većoj visini, naravno koliko to prirodni uvjeti dopuštaju. Velika prednost ovakvog spremnika kod realnog sustava je i ta što je u njega moguće pohranjivati i kišnicu te tako potpomoći sustav punjenja.

## 6.5 Turbina

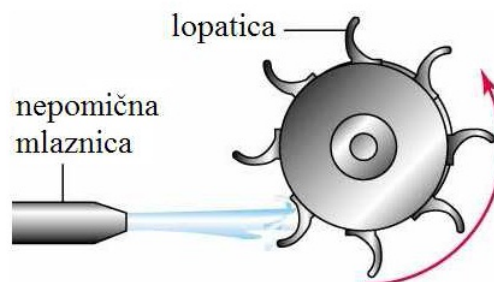
U samom eksperimentu turbina se pokazala kao jedan od komponenti s najvećim gubicima. To upućuje na to da pravilan odabir igra veliku ulogu u iskoristivosti cijelog sustava. Zato postoji propisana procedura pri odabiru turbine s obzirom na neke osnovne karakteristike i gabarite sustava. Turbine se dijele na:

- reakcijske :
  - snaga proizlazi iz pada tlaka na turbini
  - obodna brzina se pretvara u snagu turbine,
- akcijske :
  - pretvaraju kinetičku energiju vode tako da mlaznice pogađaju lopatice

- nema pada tlaka na turbini



Slika 6.1: *Reakcijske turbine*[18]

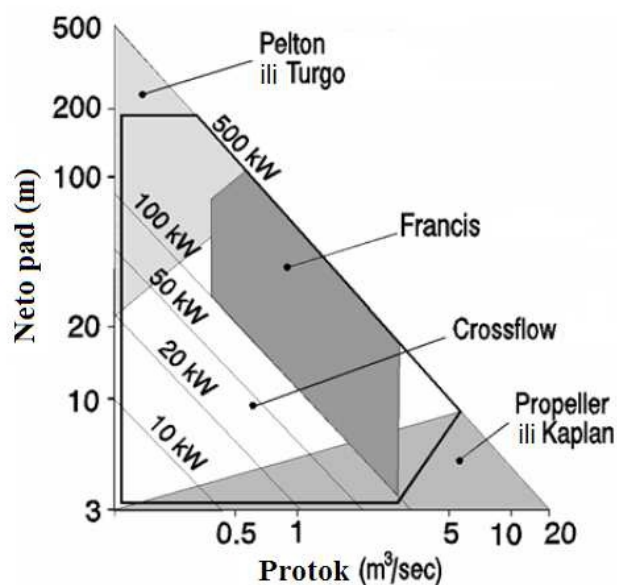


Slika 6.2: *Akcijske turbine*[18]

Danas postoji više tipova turbina od kojih su najpoznatije:

- Kaplan turbina - to su reakcijske turbine s aksijalnim protokom.
- Francis turbina - reakcijska turbina radijalnog protoka s fiksnim lopaticama rotora i podesivim vodilicama lopatica.
- Pelton turbina - akcijska turbina s jednom ili više mlaznica, a svaka mlaznica osigurava kontrolu protoka kroz prskalicu s iglom.
- Turgo turbina
- Crossflow turbina

Odabir turbine se vrši prema iznosu visine s koje pada voda te njenom protoku (6.3):



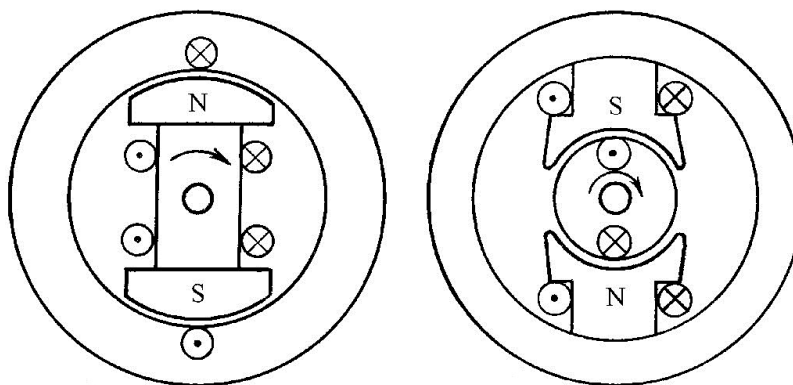
Slika 6.3: *Radna područja različitih tipova turbina*[18]

## 6.6 Generator

Kod odabira generatora radi se o dilemi između dvije vrste u ovisnosti o sustavu koji se realizira:

- sinkroni generator opremljen s vlastitim sustavom uzbuđivanja - može funkcionirati izolirano (odvojen od elektroenergetске mreže), dok asinkroni generator za normalno funkcioniranje mora biti u vezi s ostalim generatorima (odnosno priključen na elektroenergetски sustav). Sinkroni generatori se koriste kao primarni izvori proizvodnje energije u elektroenergetskim sustavima, ali također i u manjim izoliranim mrežama kao i za samostalne primjene malih hidroelektrana (otočni rad),
- asinkroni generator koji uzbuđivanje vuče iz mreže - često su najjednostavnije i najjeftinije rješenje za male hidroelektrane koje proizvode električnu energiju za isporuku u postojeću veliku elektroenergetsku mrežu. [18]

Na slici (6.4) prikazane su dvije izvedbe uzbuđivanja kod električnih generatora. Naime, uzbuđivanje generatora izmjenične struje rješava se posebnim uzbuđivačem, tj. generatorom istosmjernе struje koji služi za uzbuđivanje glavnoga generatora, a uzbuđuje se samouzbuđivanjem ili neovisno, iz pomoćnog uzbuđivača. Uzbuđivač i pomoćni uzbuđivač mogu biti na istoj osovinici s generatorskim agregatom - vlastita uzbuđivanja (slika (6.4) lijevo) ili pogonjeni posebnim pogonskim motorom - uzbuđivačni agregat (slika (6.4) desno).



Slika 6.4: *Uzbuđivanje električnog generatora*[19]

# Poglavlje 7

## Zaključak

U radu je prikazan cijeli proces razvoja prototipa male elektrane na morske valove od ideje do konačnog izgleda. Projektiran je simulacijski model u programu za 3D modeliranje - CATIA, na temelju kojeg je izrađen prototip, a i odabrane sve potrebne komponente kao što su cilindar, gumena crijeva, akumulator, servomotor, turbina te generator. Za konstantno praćenje sustava (stanje akumulatora, ispunjenost gornjeg spremnika vodom i stanje ventila na ulazu u turbinu) osmišljena je elektronička shema, izrađena tiskana pločica kao i kapacitivni senzor razine tekućine te upravljački ventil, a sve navedene informacije se ispisuju na predviđenom LCD monitoru. Također je odabran i mikrokontroler koji upravlja cijelom upravljačkom elektronikom. Zavarivanjem čeličnih profila i cijevi ostvareno je postolje mehaničke konstrukcije modela male elektrane na valove, pričvršćena je kutija u koju je smješten akumulator i tiskana pločica s upravljačkom elektronikom. Sustav je podvrgnut i eksperimentalnom ispitivanju, doduše u idealnim uvjetima, koje je rezultiralo skupom podataka čija je analiza ishodovala smjernice kojima se potrebno rukovoditi pri projektiranju i izradi realnog sustava u realnim uvjetima. Prednost ovakvih sustava je ta što je isti izvediv kao modularan na način da više modula (plutača + cilindar) može napajati jedan te isti gornji spremnik (akumulacijski bazen) te uz kombinaciju sa drugim obnovljivim izvorima energije opskrbljivati manja naselja (oko 500 kućanstava). Potrebno je naglasiti kako je, zbog financijske ograničenosti izrade prototipa, iskoristivost sustava, iz rezultata eksperimentalnog ispitivanja, proizašla jako mala. Ali, unatoč tome, taj isti eksperiment je pokazao da je sustav moguć, izvediv i da funkcionira što ujedno i je tema ovog diplomskog rada.



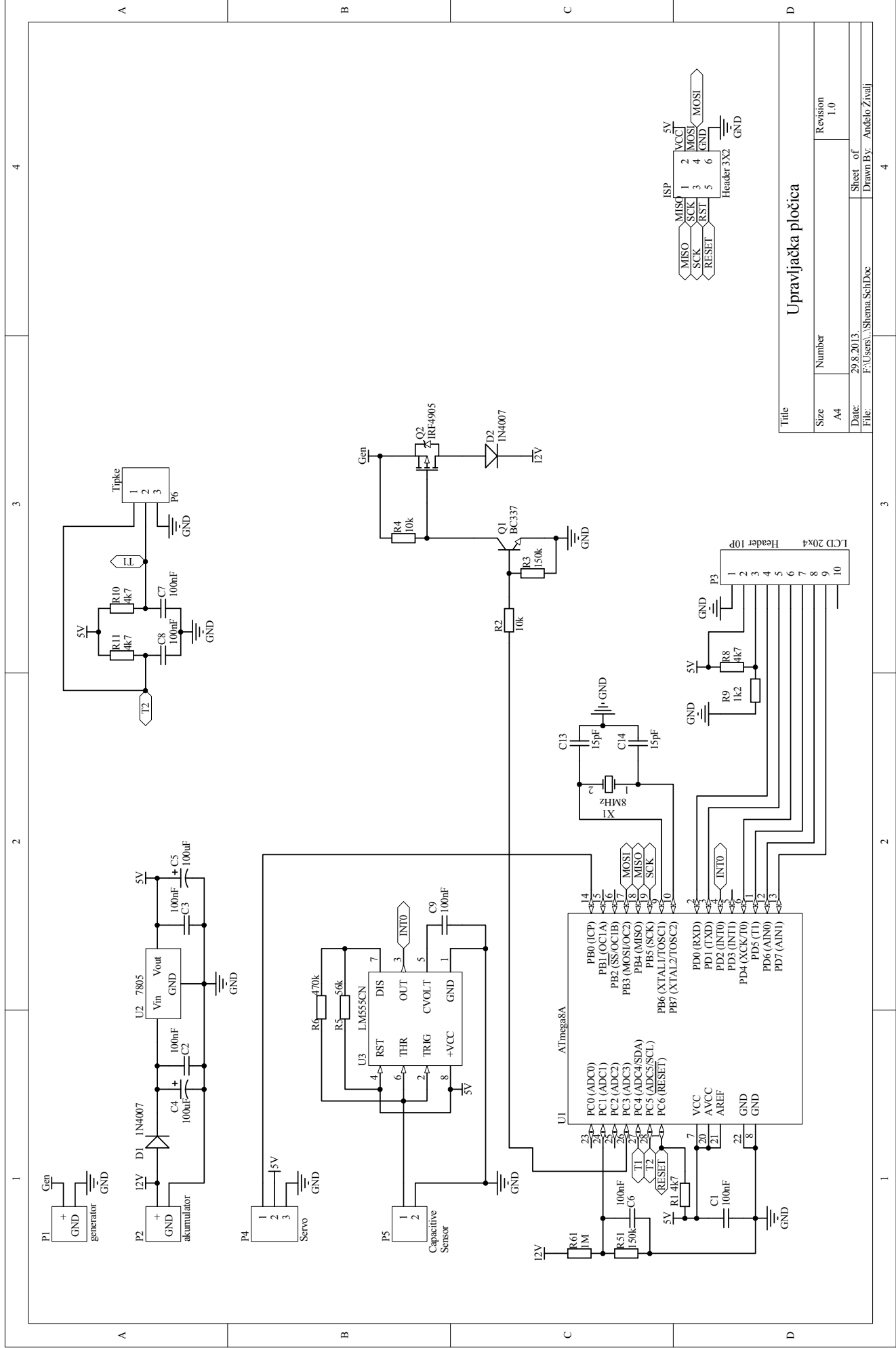
# Bibliografija

- [1] mr.sc. Draga Krpan Lisica. *"Energija mora"*. Split, 2012.
- [2] HD Wallpapers arena. Slika morskih valova. <http://www.hdwallpapersinn.com/more-hd-wallpapers.html>, 12.10.2013.
- [3] Ocean energy Ltd. International wave energy markets and opportunities. <http://www.oceanenergy.ie/markets/international.html>, 12.10.2013.
- [4] Water power: Corrosion-resistant and media lubricated rolling bearings. <http://www.schaeffler-group.com/content.schaefflergroup.de/en/press/press-releases/press-details.jsp?id=23019584>, 13.10.2013.
- [5] Cylinders series 61. [http://www.bibus.co.uk/fileadmin/editors/countries/bibuk/product\\_data/camozzi/documents/coc\\_series\\_61\\_datasheet\\_en\\_v81.pdf](http://www.bibus.co.uk/fileadmin/editors/countries/bibuk/product_data/camozzi/documents/coc_series_61_datasheet_en_v81.pdf), 13.10.2013.
- [6] Johnson low voltage standard dc motors. <http://kitairu.net/electrical-equipment-and-supplies/117240.html#prettyPhoto>, 25.10.2013.
- [7] Fiamm fg20121 - 12v 1.2ah sealed lead acid battery. <http://www.blueboxbatteries.co.uk/fiamm-fg20121---12v-1.2ah-sealed-lead-acid-battery~114>, 25.10.2013.
- [8] Lcd monitor. [http://bs.wikipedia.org/wiki/LCD\\_monitor](http://bs.wikipedia.org/wiki/LCD_monitor), 15.10.2013.
- [9] Turnigy metal gear digital robot servo. [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_27556\\_\\_turnigy\\_tgy\\_s901d\\_metal\\_gear\\_digital\\_robot\\_servo\\_13kg\\_0\\_14sec\\_58g.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__27556__turnigy_tgy_s901d_metal_gear_digital_robot_servo_13kg_0_14sec_58g.html), 23.10.2013.
- [10] Microcontrollers (mcu) avr 8kb, 512b ee 16mhz 1kb sram. <http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/054/ATMEGA8A-PU.php>, 22.10.2013.
- [11] 5v fixed voltage regulator 7805. <http://www.tandyonline.co.uk/7805-5v-voltage-regulator.html/>, 23.10.2013.
- [12] Lm555cn. [http://ic.chinadz.com/kc\\_info.asp?kc=76024](http://ic.chinadz.com/kc_info.asp?kc=76024), 25.10.2013.
- [13] Bc337 npn transistor. <http://www.tandyonline.co.uk/bc337-npn-transistor.html>, 01.11.2013.

- [14] Irf4905 mosfet. <http://radiolux.com.ua/>, 01.11.2013.
- [15] 1n4007 dioda. <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00934/>, 03.11.2013.
- [16] Maja Perisic. Tehnologija tiskanih vodova.
- [17] Light emitting diodes. [http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode\\_8.html](http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html), 13.11.2013.
- [18] Energetski institut Hrvoje Poľar. Male hidroelektrane. [http://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/see\\_ener-supply/pdf/5\\_Mahe.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/see_ener-supply/pdf/5_Mahe.pdf), 03.11.2013.
- [19] Hrvatska enciklopedija. Električni generator. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17578>, 13.11.2013.
- [20] Filip Prebeg. Energija morskih valova. <http://www.gradimo.hr/clanak/energija-morskih-valova/24067>, 12.10.2013.
- [21] Ante Smiričić, Zoran Vućak, Zvonko Gržetić, Nenad Leder, Marijan Ferenćak, and Miroslav Gačić. *"Opis eksperimenta i neki preliminarni rezultati oceanografskih istraživanja u području Velebitskog kanala, Senjskih vrata i Kvarnerića"*. Split, ožujak, 1986.
- [22] Energetske transformacije. [http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE\\_TRANSFORMACIJE#Elektrane\\_na\\_valove\\_na\\_morskoj\\_obali](http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Elektrane_na_valove_na_morskoj_obali), 12.10.2013.
- [23] Elektrane na valove. [http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane\\_na\\_valove](http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_valove), 13.10.2013.
- [24] Catia. <http://www.3ds.com/products-services/catia/>, 13.10.2013.
- [25] Pneumatski cilindar. [http://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatski\\_cilindar](http://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatski_cilindar), 13.10.2013.
- [26] Vodna turbina. [http://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna\\_turbina](http://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina), 15.10.2013.
- [27] Električni generator. [http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_generator](http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_generator), 15.10.2013.
- [28] Akumulator. <http://hr.wikipedia.org/wiki/Akumulator>, 19.10.2013.
- [29] Mjerni pretvornici. [http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Mjerenje-Razine.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Mjerenje-Razine.pdf), 13.10.2013.
- [30] Atmega8a. <http://www.atmel.com/images/atmel-8159-8-bit-avr-microcontroller-atmega8-datasheet.pdf>, 13.10.2013.

## Dodatak A

### Elektronička shema upravljačke elektronike



# Upravljačka pločica

Title	Size	Number	Revision
A4			1.0
Date:	29.8.2013.	Sheet of	
File:	F:\Users\...\Schema.SchDoc	Drawn By:	Andelo Zivalj

# Dodatak B

## Programski kod u mikrokontroleru

Glavni program

```
1 #include "servo.h"
2 #include "LCD.h"
3 #include "akumulator.h"
4
5 #define spremnik_pun      50000
6 #define spremnik_prazan   1000
7 #define akumulator_pun    1450
8 #define akumulator_prazan 1100
9
10 sbit int0en at GICR.B6; //INT0 enable bit
11 sbit int1en at GICR.B7; //INT1 enable bit
12 sbit TMR1en at TOIE1_bit; //TMR1 enable bit
13
14 unsigned char regH, regL;
15 unsigned int T; //vrijeme signala cap. senzora
16 signed char a;
17
18 void interrupt_ISR () org IVT_ADDR_INT0 // Cap senzor interrupt
19 {
20     loop: if (a==1)
21     {
22         TCNT1H=0;
23         TCNT1L=0; //Set Timer
24         a=a*(-1);
25     }
26     else
27     {
28         regL=TCNT1L;
29         regH=TCNT1H;
30         T=(regH<<8)+regL;
31         a=a*(-1);
32         goto loop;
33     }
34 }
```

```

31 }
32
33 void main() {
34
35     DDRD=0xF3;    //pin output and input
36     DDRB=0xFF;
37     DDRC=0x20;
38
39     MCUCR = 0x0A;    //INT0 i INT1 okidaju na falling edge
40     int0en=1;        //INT0 Enable
41     int1en=1;        //INT1 Enable
42
43     TCCR1B=3;        //TMR1 64 prescaling
44     TCNT1H=0;
45     TCNT1L=0;
46
47     T=4000;
48     a=1;
49     SREG_I_bit = 1; // Enable Interrupts
50
51     int0en=1;        //INT0 Enable
52     TMR1en=1;        //Enable TMR1
53     servoinit();
54     Lcd_Init();      // Initialize LCD
55     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear LCD
56     Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Turn cursor off
57     Lcd_Out(1,1," ELEKTRANA ");
58     Lcd_Out(3,1,"VISINA: ");
59     Delay_ms(100);
60
61     while(1)
62     {   aku_stanje();
63         TMR1en=0; //ne mjeri visinu vode
64         if (akumulator<akumulator_pun) // Potrebno puniti aku
65         {   if (T>spremnik_pun)
66             {   otvori_ventil();
67                 Lcd_Out(2,1," PUNIM ");
68                 punjenje=1;
69             }
70             if (T<spremnik_prazan)
71             {   zatvori_ventil();
72                 Lcd_Out(2,1," CEKAM ");
73                 punjenje=0;

```

```

74     }
75 }
76 else
77 {   zatvori_ventil();
78     punjenje=0;
79     Lcd_Out(2,1,"  CEKAM  ");
80 }
81 TMR1en=1; //mjeri visinu vode
82
83     ispisibroj(3,9,T);
84     Delay_ms(1000);
85 }
86
87 }

```

Program za očitavanje stanja akumulatora

```

1 #define acuconst 38;           // konstanta za preračunavanje u napon
   akumulatora (napon=adc/acuconst)
2 #define accu_offset 0;
3
4 sbit punjenje at PORTC3_bit;
5
6 //Stanje akumulatora
7 unsigned int akumulator;
8
9 void aku_stanje(void)
10 {   akumulator=ADC_Read(1);
11     akumulator=akumulator*100;
12     akumulator=akumulator/acuconst;
13     akumulator=akumulator + accu_offset;
14 }

```

Program za ispisivanje na LCD monitoru

```

1 //LCD ISPIS
2
3 // LCD module connections
4 sbit LCD_RS at PORTB0_bit;
5 sbit LCD_EN at PORTB1_bit;
6 sbit LCD_D4 at PORTB4_bit;
7 sbit LCD_D5 at PORTB5_bit;
8 sbit LCD_D6 at PORTB6_bit;
9 sbit LCD_D7 at PORTB7_bit;
10
11 sbit LCD_RS_Direction at DDB0_bit;

```

```

12 sbit LCD_EN_Direction at DDB1_bit;
13 sbit LCD_D4_Direction at DDB4_bit;
14 sbit LCD_D5_Direction at DDB5_bit;
15 sbit LCD_D6_Direction at DDB6_bit;
16 sbit LCD_D7_Direction at DDB7_bit;
17 // End LCD module connections
18
19 void ispisibroj (unsigned char red, unsigned char stupac, signed int
    broj)
20 {   unsigned char pom, brojac;
21     signed char niz[6];
22     signed int pom1;
23     if (broj<10) {Lcd_Chr(red, stupac, 32); stupac=stupac+1;}
24     if (broj<0)   stupac=stupac-1;
25     brojac=-1;
26     pom1=broj;
27     if (broj<0) broj=broj*(-1);
28     while (broj!=0)
29     {   pom=broj%10;
30         brojac=brojac+1;
31         niz[brojac]=pom;
32         broj=broj/10;
33     }
34     if (pom1<0) {brojac=brojac+1; niz[brojac]=-3;}
35     if (pom1==0) Lcd_Chr(red, stupac, 48);
36     else
37     {   pom1=brojac;
38         for(pom=0; pom<=brojac; pom++)
39         {   Lcd_Chr(red, stupac+pom, niz[pom1]+48);
40             pom1=pom1-1;
41         }
42     }
43 }

```

Program za pokretanje servomotora

```

1 #define tmr0reg 131 // 8MHz, prescaler 256
2
3 sbit servo    at PORTB0_bit;    //izlaz servomotora
4 sbit servoD   at DDB0_bit;      //Direction servomotora
5 sbit TMR0en   at TOIE0_bit;
6 unsigned int servotime;         //pomicanje servomotora
7
8 void servoinit(void)

```



```

9 {
10     servoD=1;                //proglasi pin OUTPUT
11     SREG_I_bit=1;            // Interrupt enable
12     TMR0en=1;                // Timer0 overflow interrupt enable
13     TCCR0=4;                 // Start timer with 256 prescaler
14     TCNT0=tmr0reg;           //Postavljanje registra na 4ms
15     servotime=0;             //varijabla za okretanje serva
16 }
17
18 void otvori_ventil()
19 {   TMR0en=1;
20     servotime=90;
21     Delay_ms(1000);
22     TMR0en=0;
23 }
24
25 void zatvori_ventil()
26 {   TMR0en=1;
27     servotime=0;
28     Delay_ms(1000);
29     TMR0en=0;
30 }
31
32 void Timer0Overflow_ISR() org IVT_ADDR_TIMER0_OVF
33 {
34     unsigned int counter,servocnt;
35     if (counter>=4)
36     {   servo=0;
37         Delay_us(650); // nuliranje
38         for(servocnt=1; servocnt<=servotime; servocnt++)
39             {   Delay_us(9); } //increment pomaka motora
40
41         servo=1;
42         counter=0;                // reset counter
43     }
44     counter++;                    // increment counter
45     TCNT0=tmr0reg;
46 }

```